

DK 573948

**Journée AGER/CIRAD
Montpellier 15 juin 1993**

**PRESENTATION DE L'UR
GESTION DE L'EAU
CIRAD-CA**

AUTOUR DU BILAN HYDRIQUE AGRICOLE

**COMPTE-RENDU FINAL
TRANSPARENTS PRESENTES**

COMPTE-RENDU REUNION
PRESENTATION UR "GESTION DE L'EAU"
15/06/93

SOMMAIRE

- 1 - Présentation de l'UR
- 2 - Programme de la journée
- 3 - Réaction des invités
- 4 - Liste des participants
- 5 - Annexes (Transparents)



AVANT - PROPOS

En 1993, la mission AGER, Agronomie, Environnement et Gestion des Ressources Naturelles a engagé une série de rencontres scientifiques au bénéfice des Unités de Recherches du CIRAD relevant du champ disciplinaire Agronomie.

La journée du 15/06/93 a été consacrée à l'U.R. "Gestion de l'eau". Les thèmes traités ont été centrés sur la modélisation simulation du bilan hydrique agricole considéré comme élément essentiel du diagnostic agronomique en particulier lorsque celui-ci prend en compte les effets d'échelle. Les autres domaines d'activités de l'U.R. feront l'objet de présentations ultérieurement.

*Après l'allocation de bienvenue de **J. Pichot** s'adressant aux chercheurs représentant la communauté scientifique tant interne qu'externe au CIRAD, **JC.Follin**, Directeur Scientifique du Département Cultures Annuelles a brièvement présenté l'U.R. "Gestion de l'eau" en soulignant son caractère pluridisciplinaire et l'originalité de sa démarche.*

***B. Seguin**, bioclimatologiste de l'INRA, en tant qu'animateur modérateur de la rencontre entamait par suite l'ordre du jour.*



PROGRAMME DES SESSIONS

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

J. Pichot, J.C. Follin, B. Seguin: Présentation de la journée
F. Forest : Historique, agrosystèmes, programmes, chercheurs, de l'UR.

SESSION 1:

ELEMENTS DE L'APPROCHE BILAN HYDRIQUE AGRICOLE

F. Maraux : La modélisation du bilan hydrique,
F.N. Reyniers : Bilan hydrique agricole et écophysologie
F. Forest : Estimation du bilan hydrique agricole de la parcelle paysanne à la région.

SESSION 2:

L'APPROCHE BILAN HYDRIQUE AGRICOLE

Echelle parcelle

F. Affholder : Fertilité au Sine, (Sénégal).
M. Vaksman, présenté par Reyniers : Photopériodisme du Mil et Sorgho au Mali.
E. Scopel : Mulch pailleux sur la zone pacifique du Mexique.

Echelle versant

P. Perez : Aménagements de versant au Saloun, (Sénégal).

SESSION 3:

LES MÉTHODOLOGIES DU BILAN HYDRIQUE AGRICOLE

P. Perez: Caractérisations des facteurs du ruissellement par présentation d'un diaporama.

Modèles de simulation

C. Baron et A. Clopes: Présentation et démonstration de DHC4 et SARRA: Modèles de BH;
PRODCLIM: base de données.

Mis en oeuvre sur le terrain

A. Mayeux: Calibration de BIPODE pour l'arachide à Sébélé (Botswana).

DÉBAT SUR LES PRÉSENTATIONS ANIMÉ PAR M. B. SEGUIN ET J. PICHOT

En Bref

SESSION 4 : LES NOUVELLES FINALITÉS

F.N. Reyniers: Les écarts entre potentialités de la ressource et production en milieu paysan.
F. Forest: L'extension des recherches aux agrosystèmes du tropique humide

SESSION 5 : LES PROBLEMES SCIENTIFIQUES

F. Forest: Facteurs advectifs de l'ETR en région tropicale semi-aride,
F. Maraux: Caractérisation des écosystèmes des zones humides et forestières,
F.N. Reyniers: Risques climatiques et économiques.



COMMENTAIRE SYNTHETIQUE DES DEBATS

IMPRESSION GENERALE

B. Seguin, animateur de la journée a souligné le large éventail des activités centrées autour de la modélisation du bilan hydrique considéré comme facteur majeur du contrôle de la croissance et survie des cultures. Il a émis le vœu qu'une plus grande attention soit accordée à :

- la valorisation scientifique et aux publications d'envergure internationale,
- la structuration disciplinaire de l'équipe,
- le ciblage des sujets de thèse.

Relevant la qualité des présentations effectuées, B. Seguin faisait remarquer l'existence de deux tendances quant aux orientations de recherche.

D'une part, une démarche visant à simplifier l'outil bilan hydrique pour des analyses de nature agrométéorologiques à caractère régional contribuant à nourrir des diagnostics agroécologiques avec un couplage, à renforcer avec les travaux de télédétection notamment.

D'autre part, un objectif complexifiant l'évaluation de l'indicateur de rendement IRESP (prise en compte des techniques culturales, des processus de dégradation, du photopériodisme...) en vue d'accroître la part explicative du bilan hydrique considéré comme facteur de production.

SYNTHESE DES DISCUSSIONS

L'ensemble des discussions entre les participants a été en définitive concentré sur une problématique de fond caractéristique d'équipes de recherche centrant leurs activités sur la modélisation, et l'élaboration de critères de diagnostic.

L'objectif de recherche, une fois bien déterminé, fixe l'échelle d'intervention, conditionne le choix de l'outil ou type de modèle, et définit la forme et par suite la signification des indicateurs pertinents, (Meynard, Jallas, Rambal, Ruelle, Vauclin).

La nécessité de définition d'objectifs précis a par suite fait l'objet de multiples réflexions.

Concernant la prévision du rendement à l'échelle des petites régions agricoles, la démarche actuelle de l'U.R. visant à diffuser l'outil de simulation DHC, Diagnostic Hydrique de Cultures, générateur de l'indicateur IRESP a été considérée comme un compromis judicieux satisfaisant ces impératifs de rigueur scientifique et le souci d'opérationnalité.

Concernant l'objectif de connaissance des processus de transferts hydriques à l'échelle des versants cultivés, de nombreux participants ont souhaité une meilleure articulation avec les équipes intervenant sur les systèmes de culture (Lacoeuilhe, Meynard...) et systèmes d'exploitation (Pichot, Ruelle).

L'utilisation de l'outil bilan hydrique par les écophysiologistes a fait l'objet d'un débat nourri se focalisant sur la question majeure :

- *Jusqu'où aller avec l'outil de modélisation du bilan hydrique ? (Pichot, Meynard, Siband).*

L'orientation déjà engagée par les chercheurs de l'U.R. visant à prendre en compte progressivement les facteurs, autres que la ressource pluviométrique, contrôlant l'évolution et les rapports entr'eux des termes du bilan hydrique a par suite été discutée.

La démarche modélisation plante constitue une autre voie méthodologique en se proposant de traiter séparément, sous forme de modules spécifiques les processus, parmi lesquels un tiroir hydrique est considéré. Le risque de confusion lié au développement d'un indicateur global tel que l'IRESP lorsque celui-ci est utilisé aux fins de diagnostic agronomique a été discuté par plusieurs interlocuteurs (Meynard, Rambal...).

La forme multiplicative de l'IRESP généralisé se voulant prendre en compte les interactions régime hydrique - état hydrique du couvert au cours de l'ensemble du cycle cultural traduit un certain hydrocentrisme mais semble tout à fait justifiée dans l'objectif de prévision du rendement et d'analyse de l'impact des pratiques culturales sur le fonctionnement hydrique du couvert et les conséquences sur le rendement.

Questions diverses :

M. Vauclin a souligné que quelle que soit la démarche de modélisation (fonctionnelle ou mécanisme), il était impératif de caractériser les marges d'incertitudes et degré de précision à attacher aux diagnostics.

Pour les chercheurs intervenant sur la problématique irrigation, l'orientation de l'U.R. vers une caractérisation multiéchelle des flux hydriques sous l'effet des activités agricoles a été soulignée (Ruelle, Luc). Des indicateurs sont à développer pour aider les gestionnaires à effectuer des choix minimisant les risques de conflit autour de l'usage de la ressource en eau.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES : aller au fond de la démarche

La démarche bilan hydrique agricole de l'U.R. a suscité des interrogations sur l'adéquation entre les méthodes qu'elle développe et les objectifs qu'elle s'est fixée. Il a été admis par tous que pour y répondre une réunion permettant de justifier scientifiquement la démarche serait organisée prochainement. Elle porterait sur les points suivants :

1/ Justification des indicateurs hydriques simulés : mode d'évaluation et relation avec le rendement.

2/ Comment l'U.R. participe au diagnostic agronomique par les processus à l'alimentation hydrique.

3/ Comment l'U.R. valide les techniques culturales en fonction de l'utilisation des ressources pluviométriques par l'agrosystème.



COMPTE-RENDU REUNION

PRESENTATION UR "GESTION DE L'EAU"

15/06/93

LISTE DES PARTICIPANTS :

AFFHOLDER F.	CIRAD-CA/URGE
ALLAFORT M.T.	CIRAD-CA/SPID
BALDY C.	INRA-LECSA/Montpellier
BARTAIRES S.	CIRAD-CA/URGE
COLAS H.	
CORNET A.	ORSTOM
DE RAISSAC M.	CIRAD-CA/UR FPV
DUGUE P.	CIRAD/SAR
FOLLIN J.C.	DS/CIRAD-CA
FOREST F.	CIRAD-CA/URGE
GODEFROY J.	CIRAD-FLHOR
GUILLOBEZ S.	CIRAD-CA/UR FCM
JALLAS E.	CIRAD-CA
JAMIN J.Y.	CIRAD-SAR
LACOEUILHE J.J.	CIRAD/AGER
LAMADE E.	CIRAD-CP/AGRO
LETERME P.	CIRAD-CP/AGER
LUC J.P.	ENSAM
MARCHAL J.	CIRAD-FLHOR
MAYEUX A.	CIRAD-CA/URGE
MEYNARD J.M.	INRA/Grignon
MILLEVILLE P.	ORSTOM/Montpellier
MOLLE F.	CIRAD/SAR
OLIVIN J.	CIRAD-CP/AGRO
PICHOT	CIRAD-AGER
PEREZ P.	CIRAD-CA/URGE
QUENCEZ P.	CIRAD-CP/AGRO
RAMBAL S.	CEPE/CNRS
REYNIERS F.N.	CIRAD-CA/URGE
RIVIERE I.	CIRAD-CA/URGE
RUELLE P.	CEMAGREF/Montpellier
SCOPEL E.	CIRAD-CA/URGE
SEGUIN B.	INRA/Avignon
SIBAND P.	CIRAD-CA/UR FPV
SOLER A.	CIRAD/FLHOR
VAUCLIN M.	LTHE/Grenoble



PRESENTATION GENERALE DE L'UR

- Introduction
- Historique
- Principaux agro-systèmes concernés
- Chercheurs et programmes



PRESENTATION DE L'U.R. "GESTION DE L'EAU"

- HISTORIQUE
- ACTIVITES
- DISPOSITIF

Unité de Recherche "GESTION DE L'EAU"

Caractériser, quantifier les flux hydriques et leur redistribution dans l'hydrosystème agricole tropical, à l'aide d'indicateurs simples et de modèles appropriés aux différents niveaux d'échelle.

La gestion agricole des précipitations
la plante - la parcelle - le versant

La gestion des écoulements dans les aménagements,
les bas-fonds, les périmètres irrigués

La valorisation agroénergétique des effluents agricoles
en zone péri-urbaine

Caractérisation du système Climat-Sol-Culture
Modélisation du bilan hydrique
Analyse des risques agroclimatiques et hydrauliques
Base de données - Serveur
Aide à la décision - projets pilotes

Bilan 1988-1992 :

Accueil de 8 thèses de Doctorat,
12 publications internationales,
20 communications à des congrès
Animation du réseau R3S CORAF/CILSS.

20 Chercheurs et Thésards

RENCONTRE AGER

LE BILAN HYDRIQUE AGRICOLE À DIVERSES ÉCHELLES ACQUIS ET APPEL À COLLABORATION

par

l'UR Gestion de l'Eau CIRAD-CA

PRESENTATION DE L'UR

L'Unité de Recherche Gestion de l'eau du CIRAD-CA, comprend actuellement une équipe pluridisciplinaire d'une quinzaine de chercheurs-agronomes composée d'une majorité d'agroclimatologistes, mais également d'écophysiologistes et d'hydrauliciens agricoles.

FINALITÉ AGRICOLE

La finalité agricole de l'UR est de réduire l'écart entre potentialité et rendements en conditions paysannes. Dans les années 1970, l'équipe, à l'origine de l'UR, **améliorait les techniques d'irrigation** en les adaptant aux caractéristiques des périmètres. Depuis 1984, de nouveaux responsables ont élargi les buts de l'UR à la **minimisation des risques dus aux aléas pluviométriques** au moyen de techniques (culturales, d'aménagement, etc) et de contributions aux stratégies d'exploitations des ressources en eau. La dépollution des eaux, volet complémentaire de l'UR, ne sera pas traitée.

APPROCHE HYDRIQUE DES SITUATIONS AGRICOLES

L'UR s'est spécialisée dans le **bilan hydrique agricole** en condition pluviale ou irriguée. Son objectif scientifique est la connaissance de la consommation en eau, du ruissellement et du drainage:

- ▶ quantification,
- ▶ caractérisation des facteurs et conditions de l'écosystème les déterminant
- ▶ place et rôles dans le fonctionnement des systèmes de culture.

Si les échelles des situations agricoles abordées sont régionale, bassin versant ou parcelle, l'échelle de référence correspond:

- ▶ au pas de temps du cycle cultural et des phases de développement phénologiques.
- ▶ et à la surface de la parcelle paysanne de l'ordre de l'hectare, ou du petit bassin versant.

INNOVATIONS TECHNIQUES ET METHODOLOGIQUES

L'UR est amenée à des adaptations ou innovations techniques et méthodologiques dans l'évaluation du bilan hydrique agricole.

Outils

- ▶ de mesure de flux hydrique: flux de sève par bilan de chaleur, ETR par station *agrocim*,
- ▶ de gestion de données: météorologique, humidimétrie du sol, etc.
- ▶ de simulation du bilan hydrique des cultures,
- ▶ de simulation de débit à la raie,
- ▶ de couplage entre modèle de simulation et base de données.

Méthodes

- ▶ Caractérisation de l'hydrosystème agricole à différentes échelles.
- ▶ Identification des facteurs de l'offre et de la demande de la consommation hydrique
- ▶ Liaisons entre indicateurs hydriques et variabilité spatio-temporelle de la productivité
- ▶ Liaisons entre bilan hydrique, itinéraires techniques, et conditions de l'écosystème
- ▶ Liaison entre types d'écoulement (eau de surface et souterraine) et indicateurs hydriques de productivité
- ▶ Liaison entre modalités d'irrigation et indicateurs hydriques de productivité.

PROBLEMATIQUES AGRONOMIQUES

Les problématiques de l'UR se classent en deux catégories:

Diagnostic hydrique des cultures

Le problème du diagnostic hydrique abordé par l'UR est l'identification des facteurs de l'utilisation agricole de la ressource pluviométrique ou des eaux superficielles. Plus précisément les études portent sur le rôle de ces facteurs et de leurs interactions dans l'offre et la demande.

Les compartiments du continuum sont analysés:

- ▶ climatique : régime pluviométrique, demande climatique, etc
- ▶ morpho-pédologique: profondeur, états de surface, fertilité, etc
- ▶ plante: cycle, LAI, enracinement, etc

Système de culture et optimisation de la ressource hydrique.

- ▶ itinéraires techniques : date de semis, préparation du sol, fertilisation, etc.
- ▶ prévision régionale des rendements et avertissement agricole
- ▶ aménagement des versants et bas-fonds
- ▶ salinité et gestion de l'irrigation.

PRODUITS MIS A LA DISPOSITION DES UTILISATEURS

L'amélioration des connaissances du bilan hydrique agricole par l'UR a fourni des produits de différente nature.

Logiciels

Avec précaution, des logiciels de calcul de bilan hydrique sont diffusés par l'UR.

- ▶ DHC4 Prévision régionale des rendements des céréales.
- ▶ SANJI, NEMA, Gestion des données et de calcul du bilan hydrique parcelle.
- ▶ BIPZON Zonage régional sur les potentialités des ressources pluviométriques
- ▶ BIPODE Pilotage de l'irrigation
- ▶ SEPIR Système d'évaluation des performances de l'irrigation à la raie
- ▶ PRODCLIM Base de données paysannes sur le bilan hydrique et la production

Exemples d'études publiées

- ▶ Besoins en eau du mil et de l'arachide
- ▶ Zonage rizicole du Brésil selon les paramètres du bilan hydrique.
- ▶ ESPACE: Productivités paysannes et indicateurs hydriques au Mali, Niger, Sénégal.
- ▶ Gestion agricole du ruissellement au Sine Saloun.
- ▶ Impact des techniques de mulching au Mexique et Cap Vert
- ▶ Fonctionnement hydrique du bas-fonds de Kambo

Coopération

- ▶ Animation scientifique et appui technique au réseau CORAF-R³S, à AGRHYMET et aux SNRA
- ▶ Coordination de projets : ESPACE, STD-DG12, ATP-CIRAD.

Formation

- ▶ Suivi de thèses et de mémoires de fin d'étude.
- ▶ Organisation de stages sur la simulation du bilan hydrique.

SOURCES DE FINANCEMENT

Le financement du personnel de l'UR provient essentiellement de l'enveloppe recherche. Des bourses MRES, et des postes d'ATD, le complète. Les projets, y compris les équipements, sont financés à plus de 70% sur fonds propres: FAC, CEE-STD, ATP-CIRAD, etc .

COOPERATION SCIENTIFIQUE

L'UR collabore avec des équipes françaises du: CEFÉ, ENSA, IMG, INRA, ORSTOM, USTL et internationales: Universités de Gembloux, Hohenheim, Florence; Centres CIMMYT, ICRISAT, etc.

POURQUOI L'EAU

■ FACTEUR DE PRODUCTION PRIMAIRE

- ▶ *Quantité*
- ▶ *Qualité*

■ FACTEUR DE RISQUE

- ▶ *Sècheresse, désertification*
- ▶ *Dégradation, pollution*

INTERROGE L'AGRONOME

POURQUOI UNE RECHERCHE

- ▶ Les processus sont peu ou mal pris en compte par les disciplines agronomiques.
- ▶ Nécessité de caractériser les flux hydriques en rapport avec l'activité agricole.
- ▶ Définir et représenter l'hydrosystème agricole partie de l'agrosystème.

LES OBJECTIFS METHODOLOGIQUES

- ▶ **Caractériser, quantifier les flux hydriques déterminant les processus de production agricole.**
- ▶ **Evaluer l'impact de l'activité agricole en particulier la conduite des systèmes de culture et les modes d'aménagement sur l'évolution de l'hydrosystème**

LA DEMARCHE METHODOLOGIQUE

► JUSTIFICATION

- Objets agronomiques

- Plante

- Sol

- Climat

Entrées disciplinaires

Ecophysiologie

Pédologie, physique du sol

Bioclimatologie, Agronoméorologie

► L'OUTIL DEVELOPPE - LE BILAN HYDRIQUE AGRICOLE

► LES APPLICATIONS AGRONOMIQUES

► LES METROLOGIES

- Modélisation et techniques de mesure

- Télédétection SIG - Systèmes experts.

HYDRAULIQUE AGRICOLE

DEMANDE EVAPORATIVE

C. DANCETTE

EVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE

J. LEGOUPIL

T.M. DUC

NORMES D'IRRIGATION

J. CHAROY

**REFERENTIEL BAC CLASSE A
LYSIMETRE
SONDE NEUTRONIQUE**

Collaboration INRA/Versailles

Collaboration CADARACHE

**STATIONS DE TARNA (NIGER)
MOGTEDO (H. VOLTA)
BAMBEY (SENEGAL)**

**■ CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT ET GESTION
DE FERMES DE POLYCULTURE IRRIGUEE
(Collaboration) INRA, BRGM, ITCF**

JC. LEGOUPIL

TM. DUC

J. CHAROY

S. MARLET

J. BOZZA

APTITUDE DES SOLS A L'IRRIGATION
ESQUISSE D'UN REFERENTIEL HYDROPEDOLOGIQUE

- | | |
|---|---|
| <p>- Estimation de la réserve utilisable (méthode Feodoroff...)</p> | <p>C.CHARREAU
J. CHAROY
S. VALET</p> |
| <p>- Caractérisation hydrodynamique (équation de Darcy)</p> | <p>S. VALET
C. DANCETTE</p> |
| <p>. Conductivité hydraulique</p> | <p>J.M. KALMS</p> |
| <p>. Humidité volumique</p> | <p>J.L.CHOPART</p> |
| <p>- Contribution à la connaissance de la variabilité spatiale
des caractéristiques hydrodynamiques</p> | <p>J. IMBERNON
P. LANGELLIER</p> |
| <p>■ Collaboration active de l'IMG de Grenoble</p> | <p>G. VACHAUD
M. VAUCLIN</p> |

LES BASES DE L'AGROCLIMATOLOGIE

**- Analyse fréquentielle des pluies
et calage des cycles culturaux**

**P. FRANQUIN et coll.
J. GIGOU**

**- Méthodologie du bilan hydrique in situ
en conditions pluviales strictes**

**J.M. KALMS
Projets AIEA
Collaboration IMG**

**- Premières caractérisation du régime ETR en sol
sableux profond et effet
et effet sur la productivité (Mil-Arachide)**

**C. DANCETTE
Projet CRIPS-NIEBE**

**- Elaboration d'un référentiel coefficients
culturels basé sur l'analyse des résultats
expérimentaux
 $K'_c = ETRM/EVA$**

**C. DANCETTE
D. RIJKS *
JM. KALMS**

**⇒ Mise en évidence des effets des techniques culturales et de l'environnement sur les valeurs
maximales $k'_c > 1$ Collaboration (INRA, IMG, AIEA).**

LE BILAN HYDRIQUE FACTEUR DE PRODUCTION

- Développement de l'outil simulation du bilan hydrique
(modèle piston sol-couvert-atmosphère)

P. FRANGUIN
F. FOREST

- Mise en évidence de l'effet du régime d'alimentation hydrique
sur le rendement de cultures pluviales intensifiées

C. DANCETTE/Sénégal
B. LIDON

- . Mil, niébé, sorgho, riz pluvial, maïs, canne à sucre
- . Sénégal, Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Mali, Réunion, Tchad

J.M. KALMS/Côte d'Ivoire
J.P. FRETEAUD/Sénégal
J. IMBERNON/Sénégal
B. CORTIER/Sénégal
F.N. REYNIERS/Brésil
R. POSS*/Togo

- Amélioration de la méthodologie

- . Evaporation du sol nu
- . Vitesse de descente racinaire
- . Régionalisation des coefficients cultureux
- . Régionalisation de la demande évaporative et
méthodologie des zonages

B. CORTIER*/Niger
J.L. CHOPART/Côte d'Ivoire
M. VAKSMANN/Mali

S. MARLET/Niger
B. LIDON/Mali

F. MARAUX/Nicaragua
R. MOREL/AGRHYMET

* Chercheurs associés

ZONAGE DES POTENTIALITES AGROCLIMATIQUES REGIONALES
PROJET R3S - PF1

- Analyse fréquentielle de la durée de la saison utile

Partenaires scientifiques

- Caractérisation des longueurs de cycle

ISRA/Sénégal

- Durée des périodes favorables

- . préparation du sol
- . semis
- . développement végétatif
- . pleine végétation
- . maturation
- . travail de fin de cycle

IER/Mali

INERA/Burkina Faso

IDESSA/Côte d'Ivoire

DRA/Tchad

DRA/Togo

Méthodologie

Variable ETR/ETP_0 Pas glissant 3 x 5 jours

Animation par l'équipe du
Projet Sol/Eau/Plante

Comparaison aux seuils $k = ETR/ETP_0$

Ateliers de Lome 90,
de Bamako 91

Bilan par station

Krigeage géographique des sorties

Applications

Afrique de l'ouest - Brésil - Indonésie (Projet)

Financement conjoint
CEE - DG XII

ZONAGE DES POTENTIALITES PAR CULTURE PROJET R3S - PF1

- ▶ Effet de la date de semis sur l'alimentation hydrique au cours du cycle et lors de la phase sensible.
- ▶ Identification de la durée de cycle optimale.
- ▶ Effet du réservoir hydrique sol sur la satisfaction des besoins en eau pour le calage variétal optimal.

Méthodologie

Analyse fréquentielle de l'indicateur IRESP1 ou IRESP2

$ETM = k_c * ETP$ (référentiel Dancette)

$ETR = f$ (humidité sol colonisé par les racines, ETP) (Eagleman)

Applications

Zonage maïsiculture Afrique de l'ouest, riziculture pluviale - Côte d'Ivoire - Brésil.

QUANTIFICATION DU GAP ENTRE LES POTENTIALITES AGROCLIMATIQUES ET LES REALITES PAYSANNALES

- Les observatoires villageois (Projet ESPACE - P4AS)

- Développement d'une base de données Production - Climat

- Calibration des modèles de bilan hydrique

BIPODE Journalier - échelle parcelle
DHC 5 jours - échelle régionale

- Proposition d'indicateurs explicatifs de la fluctuation du rendement

- Prévision du rendement moyen régional (AGRHYMET)

- Analyse de l'impact des techniques culturales (Travail du sol, engrais...) sur le régime hydrique de la culture et conséquences sur le rendement espéré.

Cap Vert - Sénégal - Mali - B. Faso - Niger - Tchad

LE DIAGNOSTIC HYDRIQUE CULTURAL

CONTRIBUTION A L'IDENTIFICATION DES

PROBLEMATIQUES

AGRONOMIQUES REGIONALES

HYDROSYSTEME SOUDANO-SAHELIEN

NIGER :	REGION DE TORODI		CHICKAL
Pluviométrie annuelle	750 mm	1950-65	400 mm
	600 mm	1968-85	280 mm

Bilan hydrique et prévision du rendement du mil (90 j) - Hivernage 1992 (projet P4AS)

Pluviométrie cycle	590 mm	340 mm
ETM potentiel	450 "	400 "
Ruissellement - drainage	210 "	50 "
ETR cycle	378 "	284 "
ETR/ETM cycle	0,85 "	0,71
ETR/ETM PC	0,87	0,61
IRESP	0,74	0,43
% fertilisation	74 %	20 %
Densité semis	6800	4600
Rdt potentiel	1258	444
Rdt espéré	930	190
Rdt observé	1017	138

$Rdt\ Espéré = D \times 7.45 \times e^{0,013 F\% \times 10^{-4}} \times IRESP1$

$IRESP1 = ETR/ETM (90\ j) \times ETR/ETM\ pc$

$ETM = kc\ ETP\ (Référentiel\ DANCETTE)$

HYDROSYSTEME SOUDANIEN NORD CAMEROUN

Pluviométrie médiane annuelle

1 000 mm Garoua

Sols ferrugineux tropicaux à concrétiser

RU (100 cm) = 85 mm

Culture de maïs 110 jours sur parcelle protégée (aménagement anti-ruissellement)

Pluie cycle	926 mm	
Technique	Labour	Mulch
ETM potentiel	493 mm	425 mm
Ruissellement	250 mm	126 mm Erosion
Drainage	381 mm	500 mm Lessivage
ETR cycle	398 mm	380 mm
ETR/ETM pc	0,87 mm	0,95 mm
IRESP2	350 mm	361 mm
Rendement espéré	3 020 kg/ha	3 196 kg/ha

Rdt = 16 ETR cycle x ETR/ETM pc - 2 580 (Résultats R³S/PF1)

HYDROSYSTEME SUB HUMIDE DE MOYENNE ALTITUDE

Vertisols - Etat de Jalisco Mexique

Pluviométrie annuelle 500 - 700 mm

Altitude 900 - 1400 m

Propriétés physiques sols

Argile 35 %

Limon 15 %

Sable 50 %

Densité ap.

RU (100 cm) 170 mm

Culture de maïs de cycle unique

Bilan hydrique pour un cycle de (115 jours)

Pluie (Juil-Oct)		500 mm	
ETM (potentiel)		422 mm	331 mm
Contrainte	Sècheresse au cours de la phase reproduction (labour conventionnel)		
Solution			Mulch pailleux
Ruissellement	84 mm		0 mm
Drainage (100 cm)	0 mm		10 mm
ETR cycle	260 mm		271 mm
ETR/ETMpc	0,61 mm		0,82 mm
IRESP2	119 mm		222 mm
RENDT ESP	1500 kg/ha		3000 kg/ha

HYDROSYSTEME HUMIDE**SUMATRA****INDONESIE**

Pluviométrie annuelle 3400 mm

Région de SITIUNG

Sols ferrallitiques désaturés :

Argile	80	Porosité excellente
Limon	12	Densité ap. 1
Sable	8	RU (100 mm) 250mm

Culture continue (3 cycles par an)

Bilan hydrique pour un premier cycle de maïs (110 jours)

Pluie (Oct-jan)		1520 mm
ETM (potentiel)		450 mm
Contrainte Solution	Toxicité Aluminique	Apport chaux 2T/ha
Ruissellement	310 mm	220 mm
Drainage (100 cm)	1020 "	800 mm
ETR cycle	120 "	320 mm
ETR/ETMpc	0,80 mm	0,92 mm
IRESP2	96 mm	294 mm
RENDT ESP	400 kg/ha	3000 kg/ha

AUTRES SOLUTIONS (AGRONOMIQUES)
 MOINS COUTEUSES
 POUR LUTTER CONTRE LA TOXICITE

CONTRIBUTION DE L'UR "GESTION DE L'EAU"
AUX PROGRAMMES ET A L'AVANCEE DES CONNAISSANCES

Cultures vivrières paysannes

► Caractérisation minimisation du risque climatique et contribution à l'amélioration de la productivité des systèmes de culture pluviale stricte.

- Effet des techniques de mulching sur l'économie de l'eau et la productivité de la maïsiculture en région de moyenne altitude

E. SCOPEL CIMMYT
INIFAP.
(INRA)

- Minimisation du risque climatique lié au processus d'intensification dans les zones agroclimatiques sensibles
 - . Effet variétal
 - . Effet techniques culturales

M. VAKSMANN IER/Mali
F.N. REYNIERS/Montpellier
A. MAYEUX Zimbabwe

- Gestion agronomique des versants pour la maîtrise des processus de dégradation liés au ruissellement

P. PEREZ ISRA/Sénégal
J.M. LOPEZ INIDA/Cap Vert
G. VALLEE IRA/Garoua

- Diagnostic hydrique des cultures en prévision du rendement en zone soudano-sahélienne

F. FOREST/Montpellier
C. BARON/Montpellier
X. GIRARD/AGRHYMET

Cultures vivrières paysannes

- Connaissance du fonctionnement hydrique des bas-fonds et contribution à l'aménagement des terroirs

B. LIDON/Montpellier
F. BLANCHET CMDT/Mali
J. BOZZA/Ghana
Collaboration CEMAGREF-ORSTOM

SYSTEMES DE CULTURES INTENSIFIES

- **Connaissance et gestion agricole de la ressource en eau dans les cerrados**

**F. AFFHOLDER EMBRAPA
CPAC
BRESIL**

- **Gestion de l'eau et contrôle de la dégradation des sols sous cultures irriguées**

**S. MARLET INRAN/Niger
V. VALLES INRA
M. BERTRAND UR FCM**

- **Diversification des systèmes de cultures irriguées dans la vallée du fleuve Sénégal**

**C. DANCETTE ISRA/Sénégal
B. SARR* Université Dijon**

- **Mise au point de méthodes de formation des responsables de périmètres irrigués**

**B. LIDON
Brésil
Collaboration GERSAR**

SYSTEMES DE CULTURE A BASE DE CANNE A SUCRE

● METHODES DE DIAGNOSTIC PRECOCE DE L'APPARITION D'UNE CONTRAINTE HYDRIQUE

JC. COMBRES (Réunion)

P. LANGELLIER

P. FERRAND (*)

P. GUILLAUME

● CARACTERISATION DE L'APTITUDE DES SOLS A L'IRRIGATION

● DIAGNOSTIC - CONSEIL AUX IRRIGANTS A L'AIDE DE LA MODELISATION (IRRICANNE) ET DU SIG.

Projet SAPHIR

Collaboration IMG INRA GERSAR

LES ACTIONS SPECIFIQUES DE L'UR

● Bilan hydrique et énergétique des couverts hétérogènes

F. MARAUX/Costa Rica
O. HAUTECOEUR
B. RAPIDEL (CATIE)

● Mise au point d'indicateurs Plante pour le diagnostic du stress hydrique.
(Variables d'état et fonctionnement)

B. MULLER/Guatemala
I. RIVIERE (Sénégal)

● Développement de la base de donnée Production x Climat
modélisation du bilan hydrique analyse des risques agroclimatiques et contribution au SIG

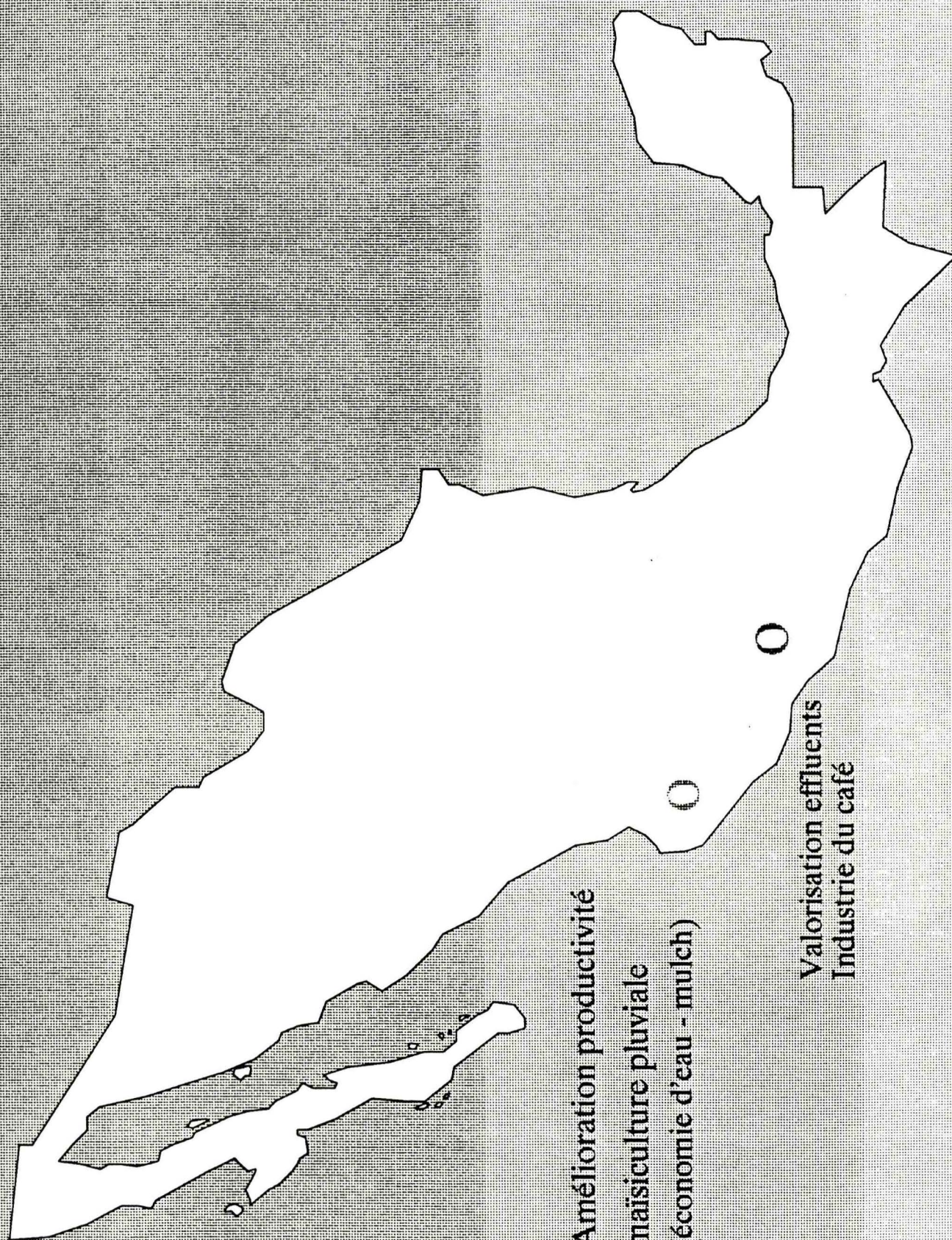
M. VAKSMANN
C. BARON
F. FOREST
A. CLOPES*
F. AFFHOLDER
F.N. REYNIERS
Collaboration INRA-ENGREF

● Adaptation des modes de gestion des périmètres irrigués aux contraintes sociales et économiques

B. LIDON
O. BARRETEAU/Sénégal-Pakistan
Collaboration CEMAGREF-CNRS

● Procédés d'épuration des effluents liquides et solides hétérogènes et valorisation agronomique

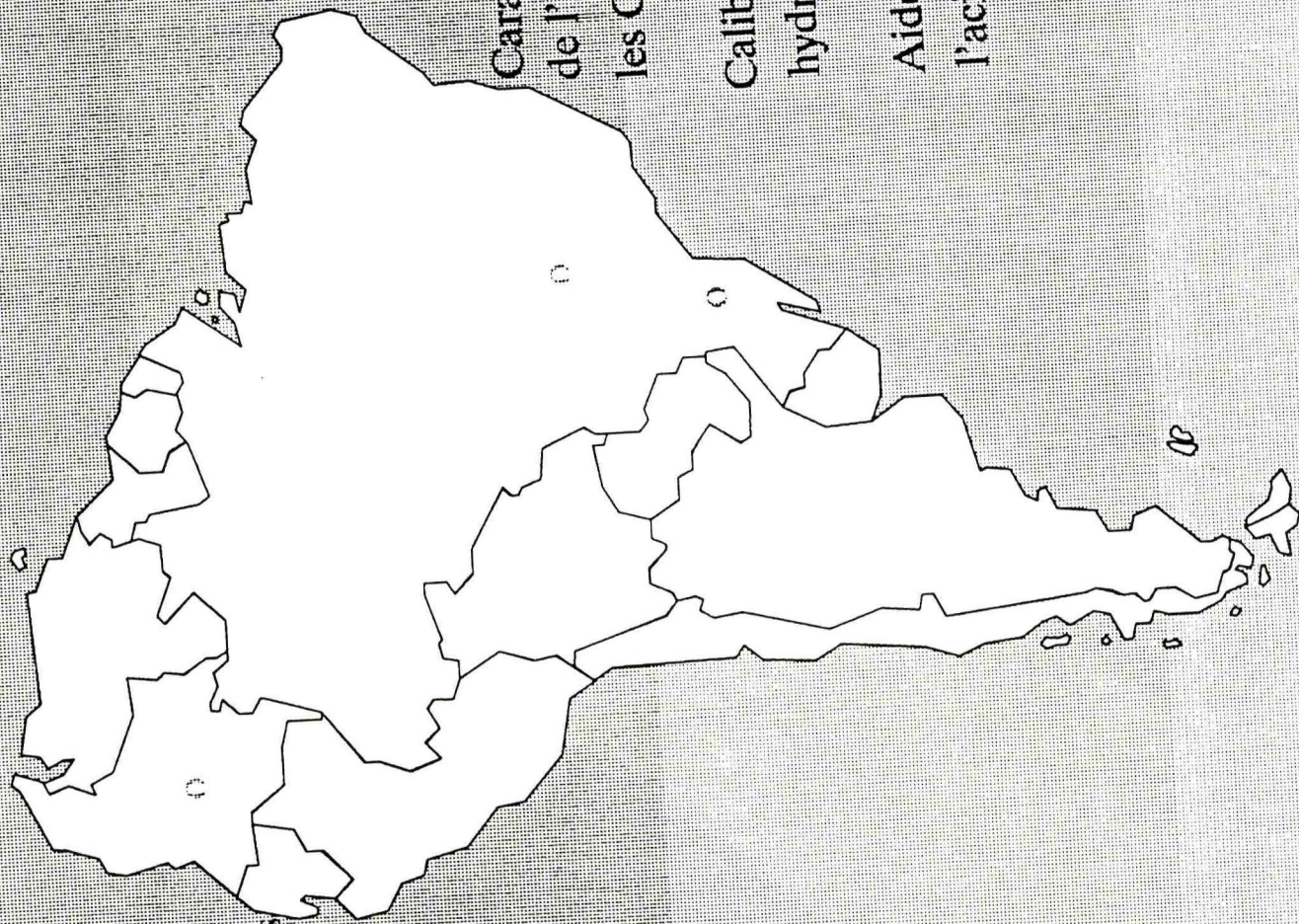
J.L. FARINET/Sénégal/Colombie
F. FOREST/Brésil
+ CP/Mexique
Collaboration CEREMHER



Amélioration productivité
maïsiculture pluviale
(économie d'eau - mulch)

Valorisation effluents
Industrie du café

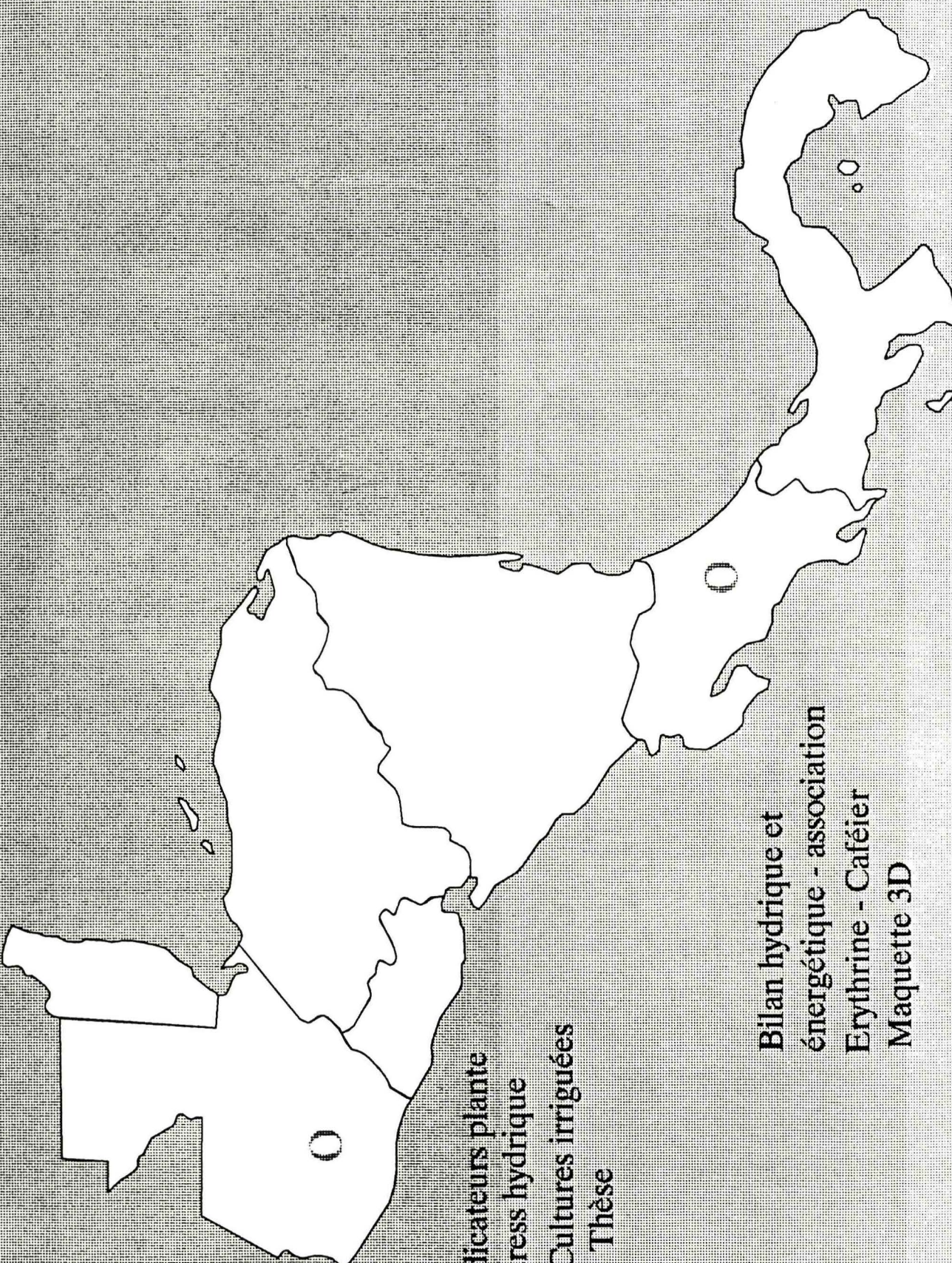
Epuration et valorisation
agronomique des effluents
de l'agro-industrie du
manioc
(Procédé Transfiltre)



Caractérisation fonctionnement
de l'hydrosystème agricole dans
les CERRADOS.

Calibration d'un modèle de bilan
hydrique.

Aide à la lutte contre
l'acidification.



Indicateurs plante
Stress hydrique
Cultures irriguées
Thèse

Bilan hydrique et
énergétique - association
Erythrine - Caféier
Maquette 3D



SESSION 1

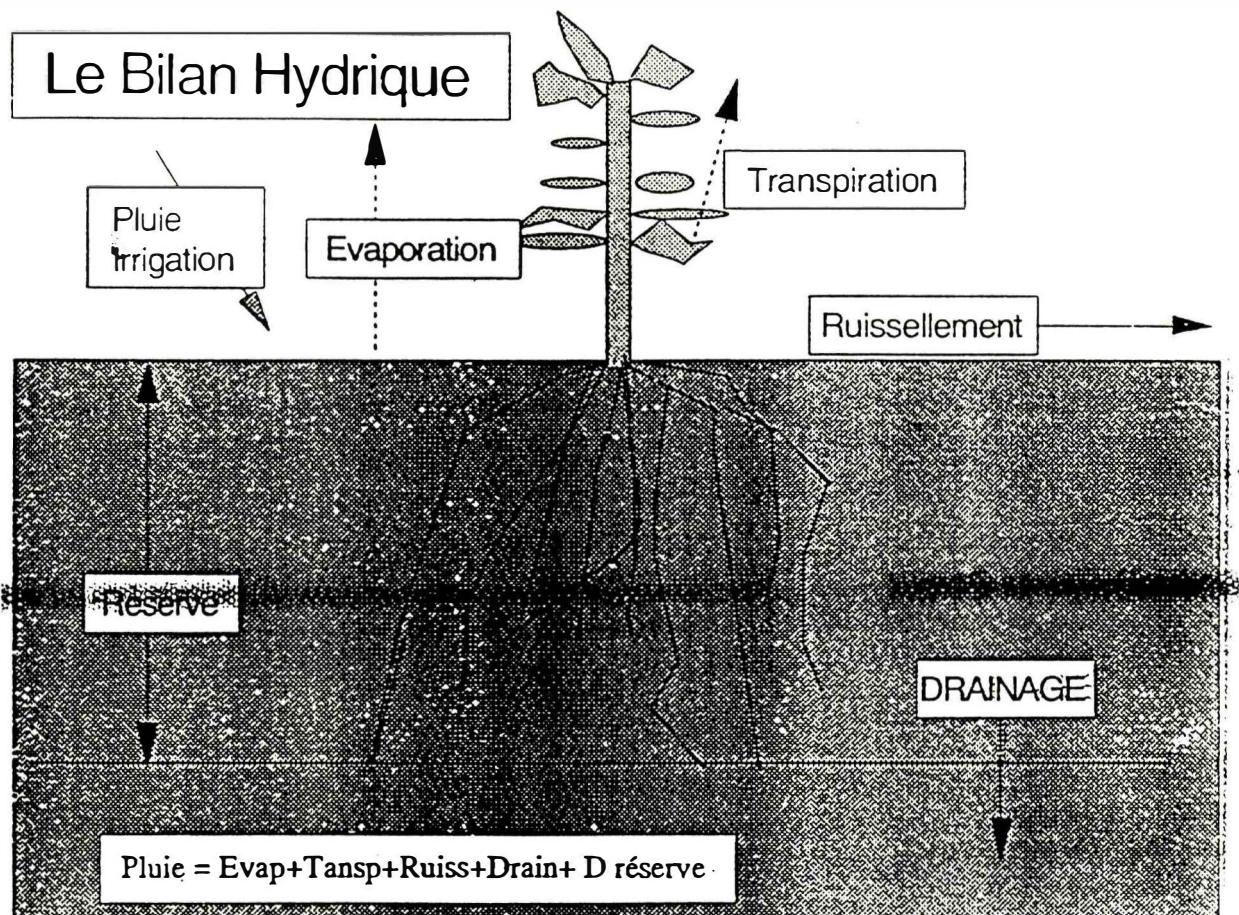
UNE AMELIORATION DU DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE : LE BILAN HYDRIQUE AGRICOLE



SESSION 1

LA MODELISATION DU BILAN HYDRIQUE

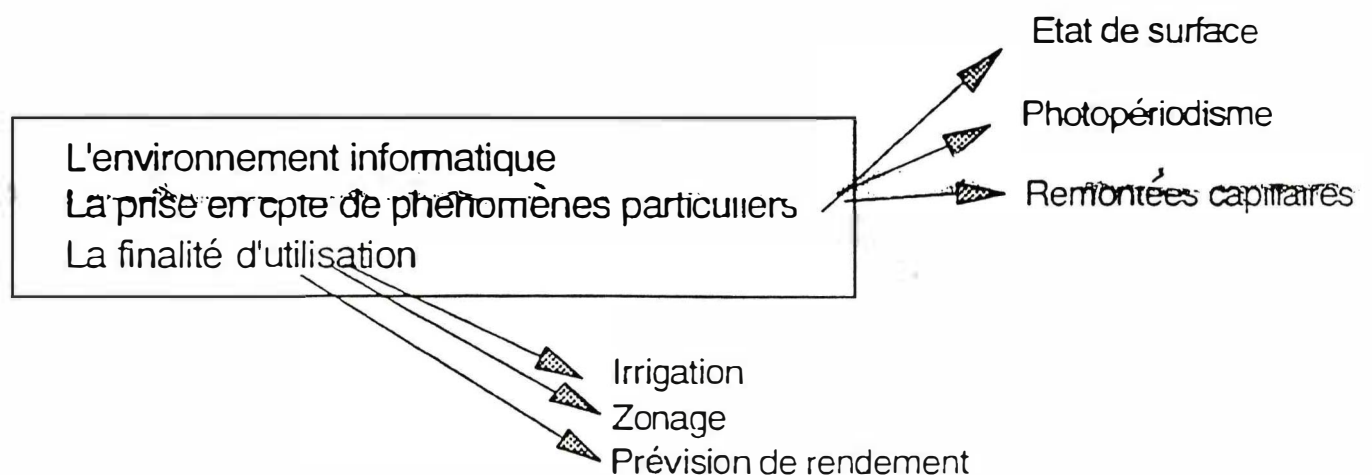
FL. Maraux



Les modèles CIRAD/CA de bilan hydrique

Historiquement: Modèle Franquin/Forest, 1978

Actuellement: Une multitude de modèles se distinguant par:



Le modèle de base (Franquin / Forest)


Modèle à piston

Pas de temps pentadaire

Un réservoir sol/racines



$$RU = RU_{\max} \cdot Pr$$

Demande climatique ETP/Coefficient cultural


$$ETM = K_c \cdot ETP$$

Sous modèle de ruissellement

Confrontation offre en eau/demande climatique
à travers la fonction d'Eagelman étendue


$$ETR = f(HR, ETM)$$

Les modeles mécanistes

Sur un pas de temps dt (qqes secondes)

Résolvent l'équation du bilan d'énergie

$$R_n = H + L_e + G$$

Résolvent l'équation de Darcy

$$Q = K(t) \, dh/dz$$

Paramètres difficiles

LAI
Résistances
Hydrodynamique
Enracinement
Absorption racinaire
Stress hydrique
.....

Des modèles mécanistes pour:

Comprendre des situations particulières

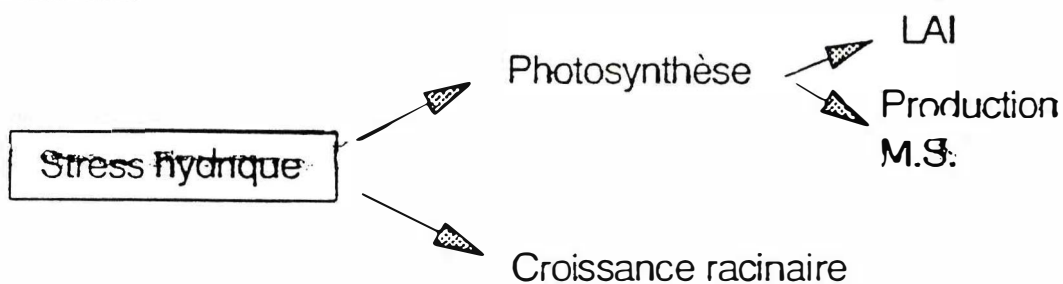
Raisonner des mécanismes

~~Estimer les erreurs ou approximations~~
générées par les modèles simplifiés

Le couplage avec les modèles de production

Prise en cpte des interactions:
difficile à partir des modèles de B.H.

Exemple :



Le CIRAD/CA doit-il s'orienter vers la mise au point de modèles mécanistes de bilan hydrique ?

Echelle d'espace

Parcelle
Terroir
Bassin versant

Echelle de temps

~~Campagne agricole~~
Recherche de stratégies
pluri annuelles

Des modèles simplifiés pour:

Le zonage des potentialités et des risques

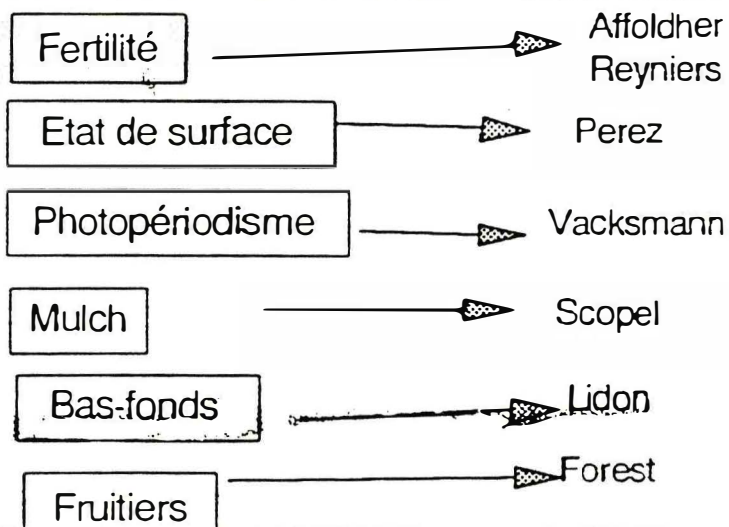
Raisonner des stratégies

Dimensionner et piloter les dispositifs d'irrigation

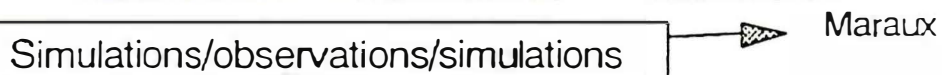
Etre couplés avec le calcul économique

Voies d'amélioration du modèle fonctionnel

Enrichissement à partir du référentiel terrain



Analyse des désajustements par rapport au modèle mécaniste



SESSION 1

BILAN HYDRIQUE AGRICOLE ET ECOPHYSIOLOGIE

FN Reyniers

CONCEPTION GENERALE

Notre Unité de Recherche centre ses activités sur l'amélioration de la gestion de la ressource en pluies dans le cas de l'agriculture pluviale. Ses objectifs pour le développement:

- 1 - fournir des indicateurs hydriques de fonctionnement des cultures,
- 2 - identifier les facteurs hydriques du diagnostic agronomique,
- 3 - proposer des techniques culturales adaptées aux précipitations des agrosystèmes.

La démarche générale de l'UR est de caractériser les flux hydriques productifs ou de dégradation des systèmes de culture. Elle est dénommée *bilan hydrique agricole*. Elle est pratiquée au moyen de logiciels de simulation avec un modèle de bilan hydrique à réservoir. Ils sont améliorés en intégrant progressivement les composants climat sol et plante et en tenant compte de leurs interactions. Le degré de complexité amène à la notion d'hydrosystème agricole comme partie contrôlant *le bilan hydrique agricole*.

Le bilan final est établi sur les précipitations du cycle de culture.

Les contributions des écophysiologistes à la démarche *du bilan hydrique agricole* sont les suivantes

- Ils établissent les relations réciproques entre ETR, drainage à diverses échelles et croissance et développement tel que LAI, vitesse d'enracinement, phases de sensibilité au stress, etc.
- Ils caractérisent les processus modifiant la répartition des flux: photosensibilité, effet de l'acidification, etc.
- Ils prévoient les effets des interactions techniques culturales et plante: stock hydrique déficitaire à la floraison par excès de fertilisation azotée, etc,

ILLUSTRATIONS DES CONTRIBUTIONS DES ECOPHYSIOLOGISTES AU BILAN HYDRIQUE AGRICOLE

Les exemples choisis viennent de mes propres résultats et réflexions. Ils correspondent aux objectifs de la démarche.

1 LES INDICATEURS HYDRIQUES

Les flux hydriques de la fertilité et de la dégradation.

Le devenir de la ressource en pluies d'un cycle de culture en : ETR, Ruissellement, Drainage est un passage obligé de la démarche du bilan hydrique agricole.

Equation du bilan hydrique du cycle

Les flux du bilan sont déterminés d'abord au pas de temps approprié à la technique culturale testée, puis pour la ressource en pluies du cycle de l'agrosystème concerné. Cette intégration détecte les flux déséquilibrés entre phases, au détriment du bilan du cycle ou de phase plus sensible.

Interactions

La complexité des conditions et facteurs du bilan hydrique agricole est contrôlée si non maîtrisée au moyen d'indicateurs les intégrant.

Critères des indicateurs hydriques

Les critères ont été choisis pour caractériser conjointement l'écosystème et son système de culture. On les appelle agrosystème ou hydrosystème agricole.

IRESP

Parmi les indicateurs hydriques *l'IRESP* est le plus sensible aux variations du système de culture: durée de cycle, travail du sol, fertilité, etc. Il a été validé comme indicateur de productivité des céréales lorsque de l'alimentation hydrique dépend le fonctionnement de la culture. Sa justification écophysologique est qu'il multiplie: l'ETR_{cyc} proportionnel à l'activité photosynthétique de la culture, à ETR/ETM_{pc}, proportionnel au déficit de satisfaction de la phase de développement la plus sensible. L'IRESP est nécessaire mais pas suffisant au diagnostic.

Echelles des hydrosystèmes agricoles

L'IRESP autorise les passages d'échelle entre hydrosystèmes agricoles.

2 DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE PAR L'ECOPHYSIOLOGIE

2.1 Diagnostic agronomique du déficit d'alimentation hydrique

Zonage du Brésil du déficit hydrique du riz selon la RUR.

En collaboration avec les agroclimatologistes le zonage rizicole du Brésil a été réalisé par un indicateur de satisfaction d'alimentation hydrique (ici ETR/ETM_{pc}). La valeur de cet indicateur est fonction du niveau de réserve utile racinaire (RUR). Ainsi le diagnostic agronomique est ébauché par une hypothèse sur le rôle du profil racinaire et du sol sur le déficit d'alimentation hydrique. Le diagnostic s'est affiné par les effets de l'acidité sur la croissance racinaire.

2.2 Diagnostic agronomique de la culture continue

Les facteurs des plantes contrôlant l'offre et la demande

Les processus écophysologiques de l'alimentation hydrique sont caractérisés par les facteurs, plante, de l'offre et de la demande.

Acidification du sol et alimentation hydrique

De l'offre ou de la demande laquelle réduit l'alimentation hydrique du Mil dans une culture continue de mil-arachide au Sine ?

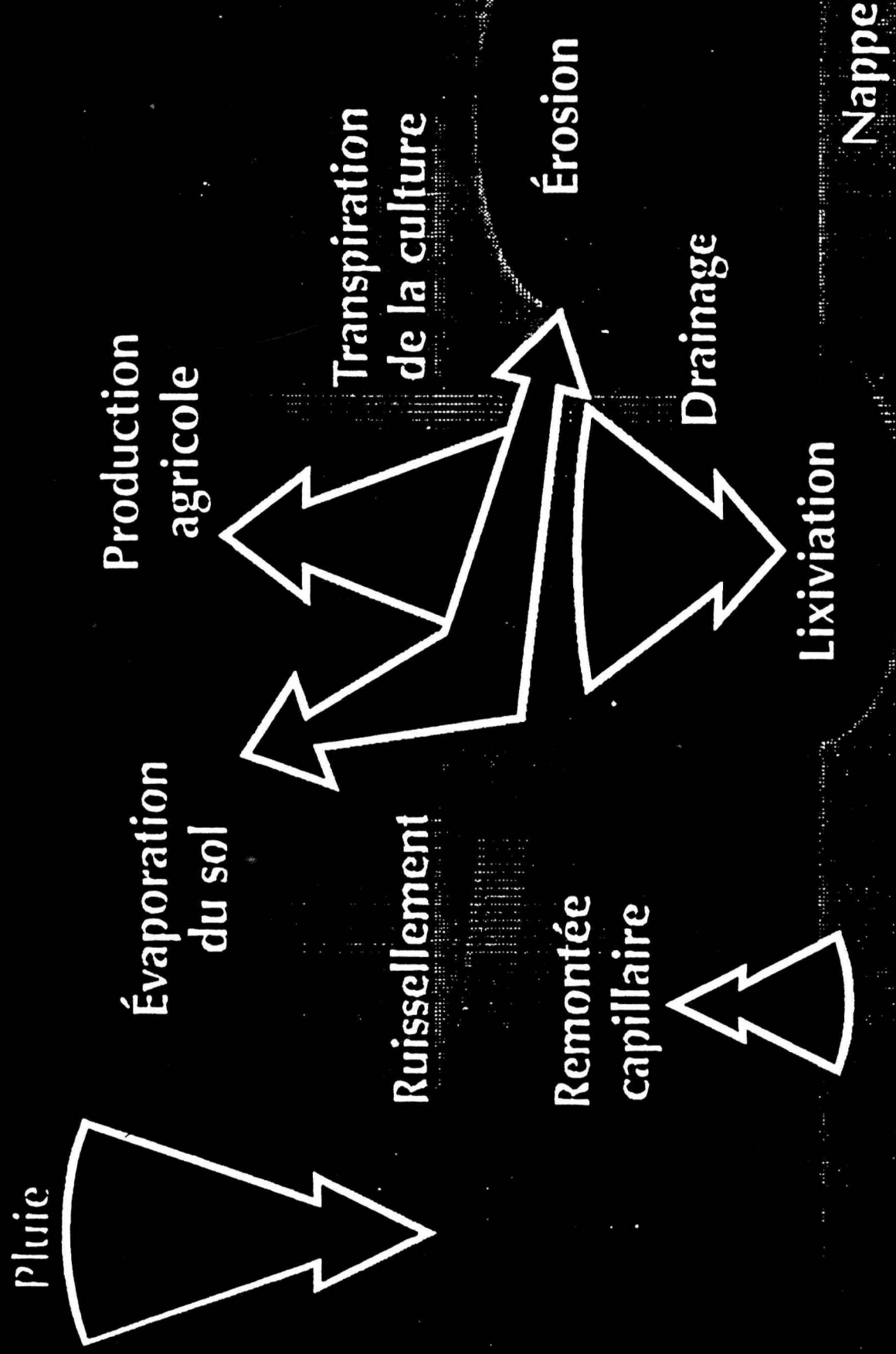
Processus liant dégradation et flux hydriques

La dégradation des sols du Sine a rendu la demande le facteur limitant de l'alimentation hydrique, en réduisant davantage la surface foliaire que le profil d'enracinement. Les déséquilibres entre flux hydriques fertiles et dégradants apparaissent progressivement. La rentabilité du maintien de la fertilité dépend de la pluviométrie moyenne et de sa variabilité. Les investissements se situent à des niveaux faibles en tout état de cause.

A contrario je pense que l'évolution de l'agrosystème du Cerrado brésilien est beaucoup plus tranchée. La ressource en pluies est dans l'ensemble supérieure à 1500 mm et il semble que la toxicité aluminique nettement plus marquée affecte l'offre en eau par son effet sur le profil racinaire. Dans ces conditions pédoclimatiques la spirale de dégradation est fortement accentuée si des techniques de protection comme le chaulage ou le semis direct ne sont pas pratiquées.

Les flux hydriques et leurs effets

dans l'hydrosystème agricole



BILAN DE LA RESSOURCE EN PLUIES DU ~~CYCLE~~ D'UNE CULTURE

$$\mathbf{ETR_{cyc} = Pl_{cyc} - Ru_{cyc} - Dr_{cyc}}$$

**RESSOURCE EN PLUIES ET SYSTEME
DECULTURE
CONDITIONS FACTEURS TERROIRS
 FACTEURS
 TEC. CULTURALES**

**I
N
T
E
R
A
C
T
I
O**

CRITERES

D'UN INDICATEUR DE PRODUCTIVITE DE LA RESSOURCE EN PLUIES

ECOPHYSIOLOGIQUE ET AGRONOMIQUE

- Intégrer la mobilisation de la ressource **EN PLUIES** du semis à la récolte.
- Répondre aux variations des caractéristiques :
sol,
climat,
plante.
système de culture.

**INDICATEUR DE PRODUCTIVITE
DE LA RESSOURCE EN PLUIES
ECOPHYSIOLOGIQUE
ET
AGRONOMIQUE**

L'IRESP

$$IRESP = ETR_{cycle} \times ETR/ETM_{phase\ Critique}$$

COMPOSANTS DE L'HYDROSYSTEME AGRICOLE
COMPONENTS OF THE AGRICULTURAL HYDROSYSTEM

Echelle	Composantes de l'hydro-système agricole	Flux hydriques évalués
Région de même pluviosité	Régime fréquentiel des pluies ETP, etc	IRESP potentiel
Terroir-versant	Etats de surface, porosité du sol etc.	Taux de ruissellement, apports latéraux, etc.
Champs paysans	Réserve utile racinaire, indice foliaire, etc.	IRESP réel, évaporation sol, drainage.
Plante	Composition rhizosphérique, états hydrique des feuilles, etc	Flux de sève, exsudats racinaires, etc.

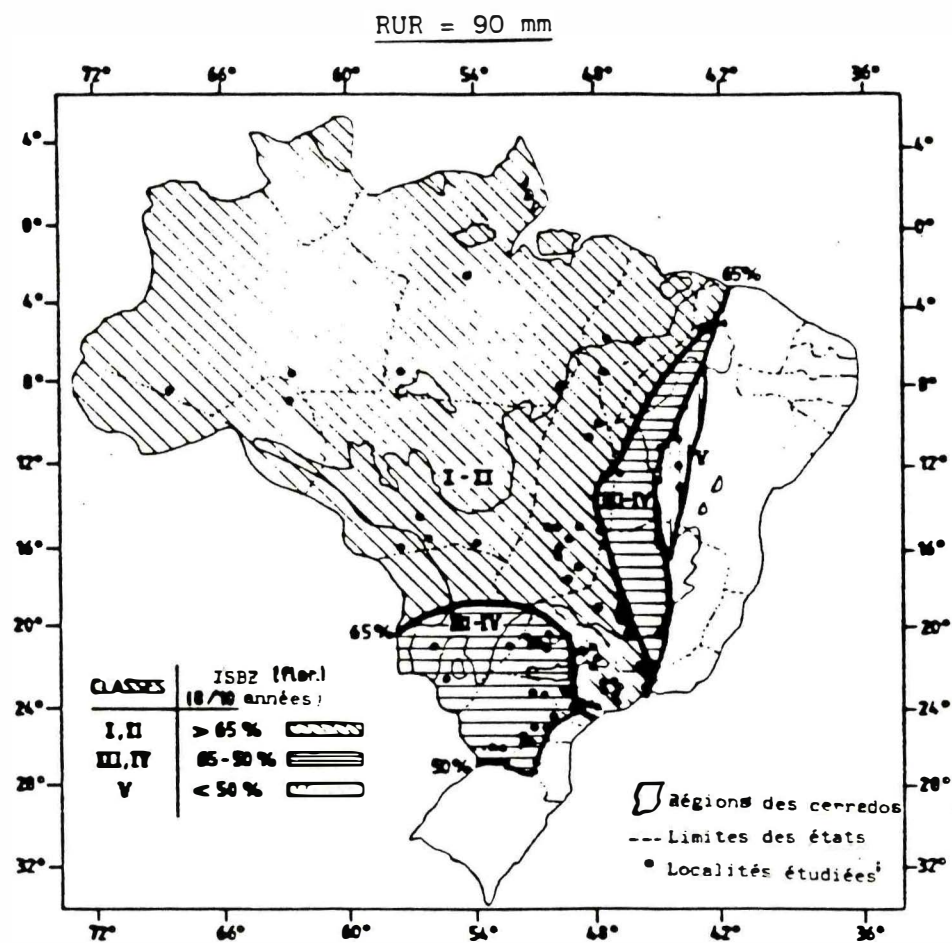
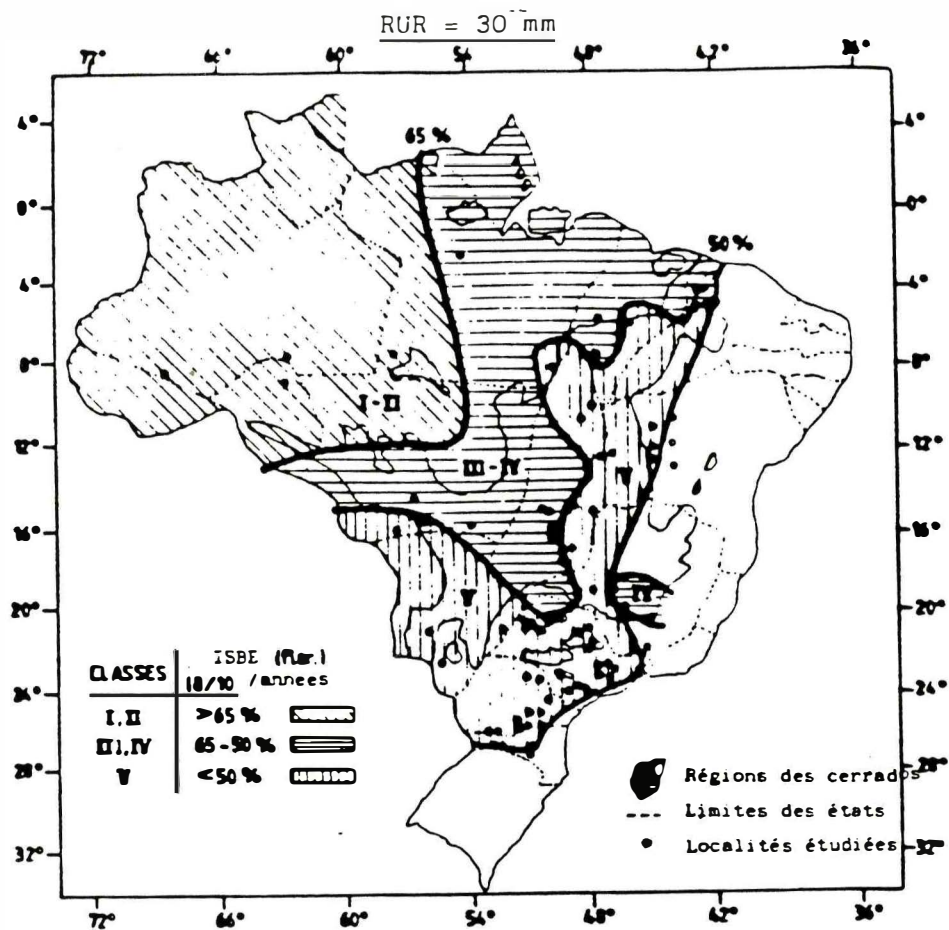
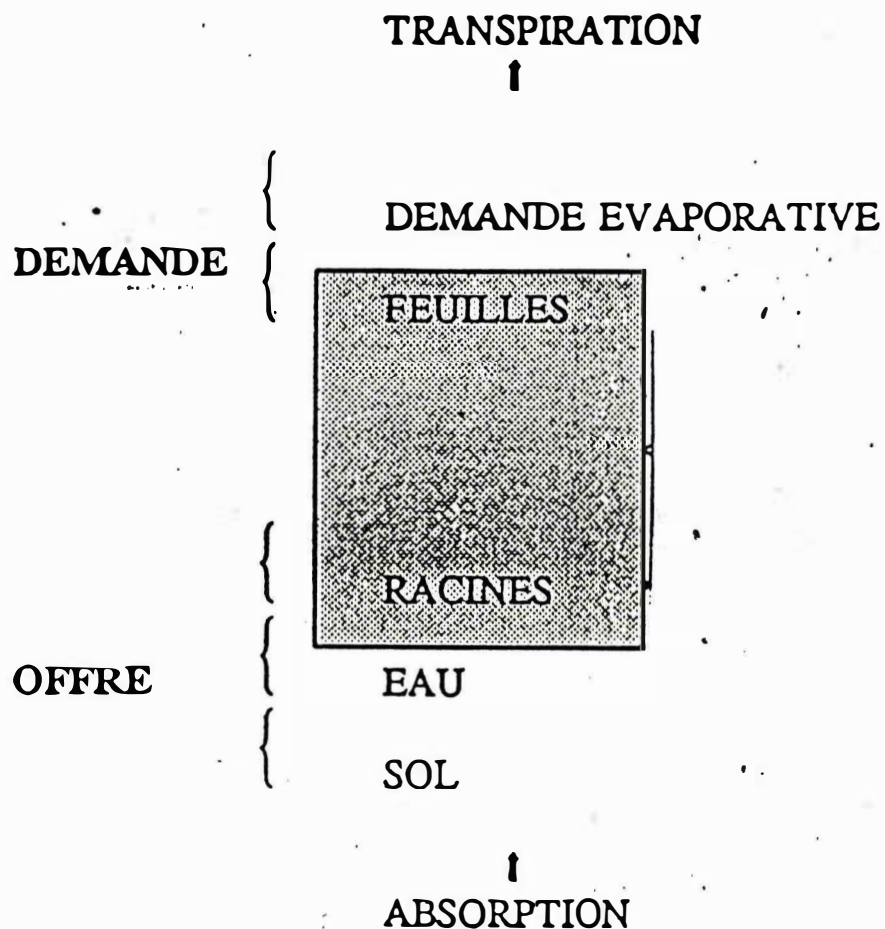


FIGURE 1 ZONAGE DES POTENTIALITES DU RIZ PLUVIAL
AU BRESIL POUR UNE RUR DE 30 et 90 mm

DIAGNOSTIC DES FACTEURS DE L'OFFRE & DE LA DEMANDE DE LA RESSOURCE EN PLUIES



OFFRE > DEMANDE → ETR = DEMANDE

OFFRE < DEMANDE → ETR = OFFRE

ACIDIFICATION DES SOLS

Besoins en eau et offre en eau

SYSTEME DE CULTURE CONTINUE



ACIDIFICATION



TOXICITE AL⁺⁺⁺



REDUCTION
SURF. FOL.



BAISSE DES
BESOINS EN EAU



REDUCTION DE
L' ENRACINEMENT



BAISSE DE
L' OFFRE EN EAU



LIXIVIATION

SESSION 1

ESTIMATION DU BILAN HYDRIQUE AGRICOLE DE LA PARCELLE PAYSANNALE A L'ECHELLE REGIONALE

F. FOREST

La prévision du rendement moyen villageois

L'outil :

- La calibration du modèle de bilan hydrique avec prise en compte de l'effet de l'état de surface sur le ruissellement.
- L'indicateur IRESP généralisé pour la prévision du rendement tenant compte de l'interaction technique culturale - fertilisation - eau.
- Validation de l'indicateur IRESP pour 3 zones du Mali.

Les données

- Carte des coefficients cultureux régionalisés au Burkina Faso (période floraison - remplissage).
- Réseau départemental de pluviométrie pour l'alimentation du bilan hydrique simulé.
- Les observatoires de la production agricole, occupation des sols, choix des champs cultivés objets du suivi.

Les résultats

- Extrait de la base de données production-climat.
- Mise en évidence de l'interaction IRESP - fertilisation - rendement - moyen villageois.

COMMENTAIRES DES TRANSPARENTS

Le projet ESPACE, Evaluation Suivi de la Production Agricole en relation avec le Climat et l'Environnement mis en oeuvre de 1988 à 1992 s'est fixé comme objectif la prévision du rendement à partir de la modélisation du bilan hydrique considéré comme un des facteurs essentiels de la productivité au champ des principales cultures vivrières de la zone soudano-sahélienne (zone CILSS).

Transparent 1 :

Le ruissellement en début d'hivernage est l'un des facteurs conditionnant le retard au semis réussi en milieu paysan. Ce processus une fois identifié et pris en compte a conduit à considérer dans la simulation, non pas la date au plus tôt liée à l'évènement pluie précoce, mais un ensemble de dates constituant une vague de semis. Cette analyse a contribué à mieux représenter la réalité paysannale dans le paramétrage des simulations.

Transparent 2 :

L'indicateur utilisé pour la prévision du rendement en zone soudano-sahélienne considère les termes du bilan hydrique sur l'ensemble du cycle de culture. Le choix multiplicatif de la structure de l'indicateur se veut prendre en compte les interactions entre le régime d'alimentation hydrique analysé au pas journalier sur l'ensemble du cycle et l'état hydrique du couvert à un stade de croissance développement donné.

La similitude avec la formule présentée dans le modèle de Monteith destiné à prévoir la production de matière sèche totale confirme l'intérêt de l'indicateur IRESP pour l'élaboration d'une méthode robuste et régionalisable de prévision du rendement.

Transparent 3 :

Disposant au départ d'un référentiel sur les coefficients cultureux obtenus au CNRA de Bambey dans d'excellentes conditions agronomiques, il était nécessaire de mettre au point une méthode permettant d'extrapoler régionalement les valeurs obtenues in situ. Des analyses sur les liaisons entre pluviosité, demande évaporative et indices ETM/ETP obtenus en divers sites de recherche, ont conduit à la proposition de fonctions de régression permettant d'estimer la variabilité géographique des coefficients cultureux caractéristiques des phases d'installation de reproduction et de maturation. L'exemple de la carte des coefficients K_c max pour le Burkina Faso met ainsi en évidence un gradient Nord-est-sud-ouest tout à fait significatif du mode de culture et des pratiques couramment mises en oeuvre par les agriculteurs (relation K_c - LAI - densité - pluviosité).

Transparent 4 :

Les travaux menés au Mali ont significativement contribué à identifier les facteurs de l'indicateur IRESP-généralisé. La prise en compte de la densité au semis améliore la précision de la prévision en apportant une information déterminante sur la caractérisation de l'état initial (potentialité).

Transparent 5 :

La représentativité spatiale des résultats stationnels proposés par la simulation du bilan hydrique constitue un des points faibles de la méthode proposée et transférée en 1992 au Centre AGRHYMET. Le cas du département de Louga au Sénégal est à ce titre exemplaire. A terme, l'obstacle sera contourné en alimentant le modèle par des estimations spatialisées du champ pluviométrique obtenu à l'aide du satellite Meteosat.

Transparent 6 :

En 1991, dans le cadre du projet P4AS, il a été proposé de paramétrer et utiliser la simulation du bilan hydrique à l'échelle d'observatoires villageois dimensionnés (25 km²) pour être compatibles avec l'analyse des images fournies par le satellite NOAA-AVHRR.

Transparent 7 :

Une enquête 100 % aléatoire autorise à la fois une estimation statistique de la surface cultivée et le choix des champs cultivés soumis au diagnostic hydrique. Le rendement moyen observé peut dans ces conditions être considéré comme un indicateur, statistiquement utilisable puisque représentatif de la réalité.

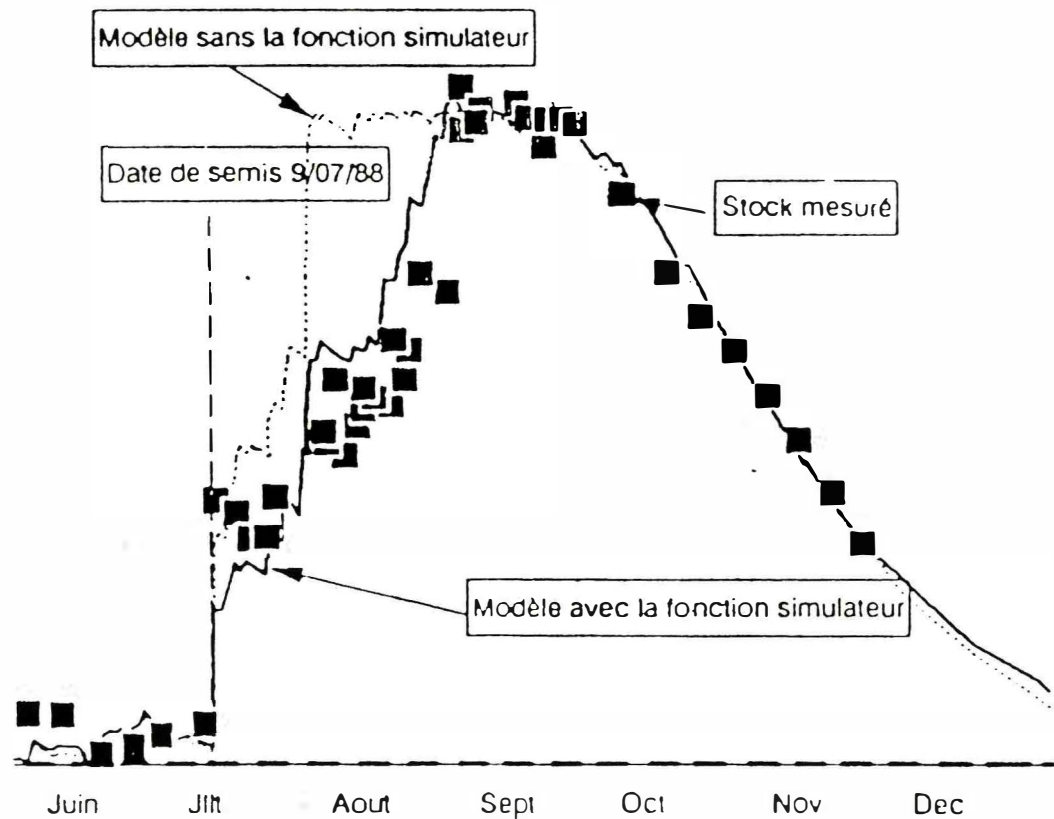
Transparent 8 :

L'extraction de l'information consignée dans la base de données production x climat autorise une analyse des facteurs agronomiques conditionnant la fluctuation du rendement, indépendamment de la prise en compte de la composante hydrique (IRESF).

Transparent 9 :

L'interaction alimentation hydrique, niveau moyen d'intensification à l'échelle de l'observatoire villageois, et rendement grain est aisément mise en évidence en combinant la base de données PRODCLIM et les sorties du modèle de bilan hydrique DHC. Il est à remarquer une tendance à l'accroissement de la variabilité du rendement lorsque le niveau d'intensification augmente. Ce premier constat fait l'objet d'une analyse plus approfondie par notre collègue F. Affholder.

Amélioration des modèles du bilan hydrique



Bilan hydrique parcelle bas de pente, à Kasséla (Mali).

LE MODELE DE PRODUCTION PRIMAIRE

Monteith 1972

Varlet Grancher et al 1982

$$MS = \int_{t_0}^{t_1} \epsilon_c \epsilon_b \epsilon_a RG dt$$

$$IRESP = ETRM_{cycle} \times \frac{ETR_{cycle}}{ETRM} \times \frac{ETR_{pc}}{ETRM} \times \frac{ETRM_{pc}}{ETM_{pot}}$$

$K_c \times RG_{cycle}$ (plante entière) ϵ_b (Epi-grain) $LAI_{couvert}$ ϵ_a

ϵ_c

ϵ_b

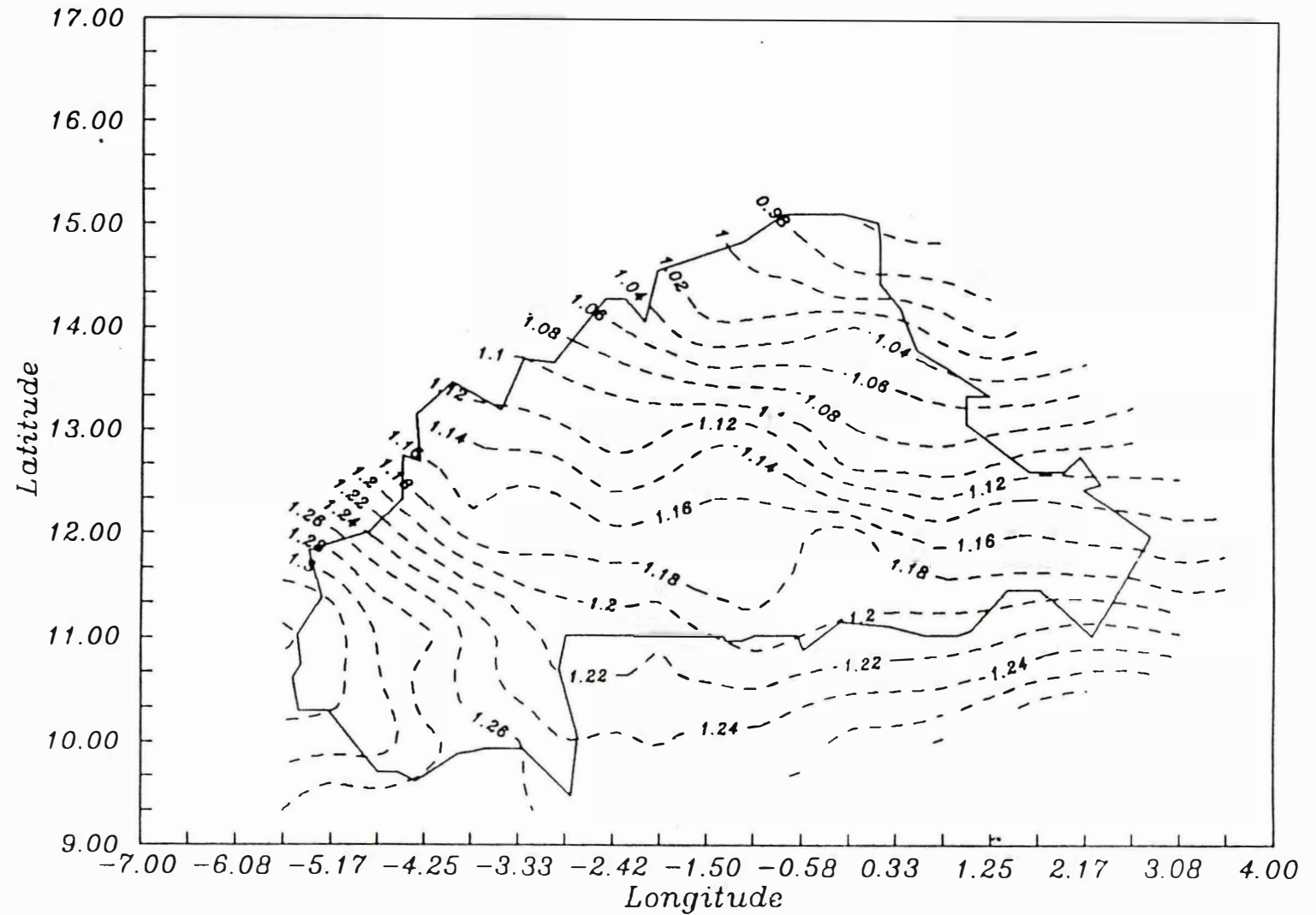
ϵ_a

ϵ_c Efficience climatique

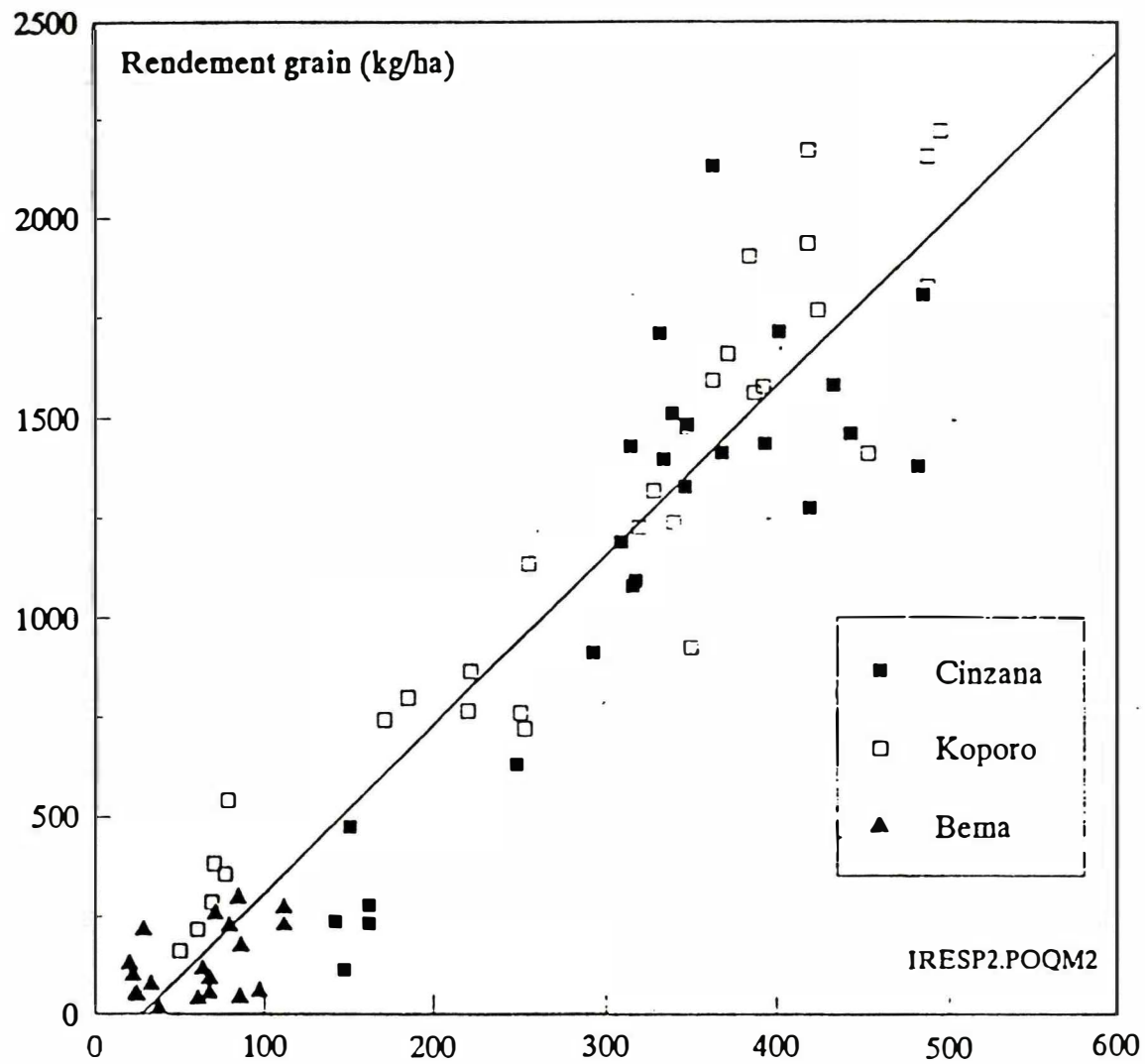
ϵ_b Efficience de la conversion du PAR en MS

ϵ_a Efficience de l'absorption du PAR par le couvert (LAI).

KC maxima par la methode P/Evbac au BURKINA

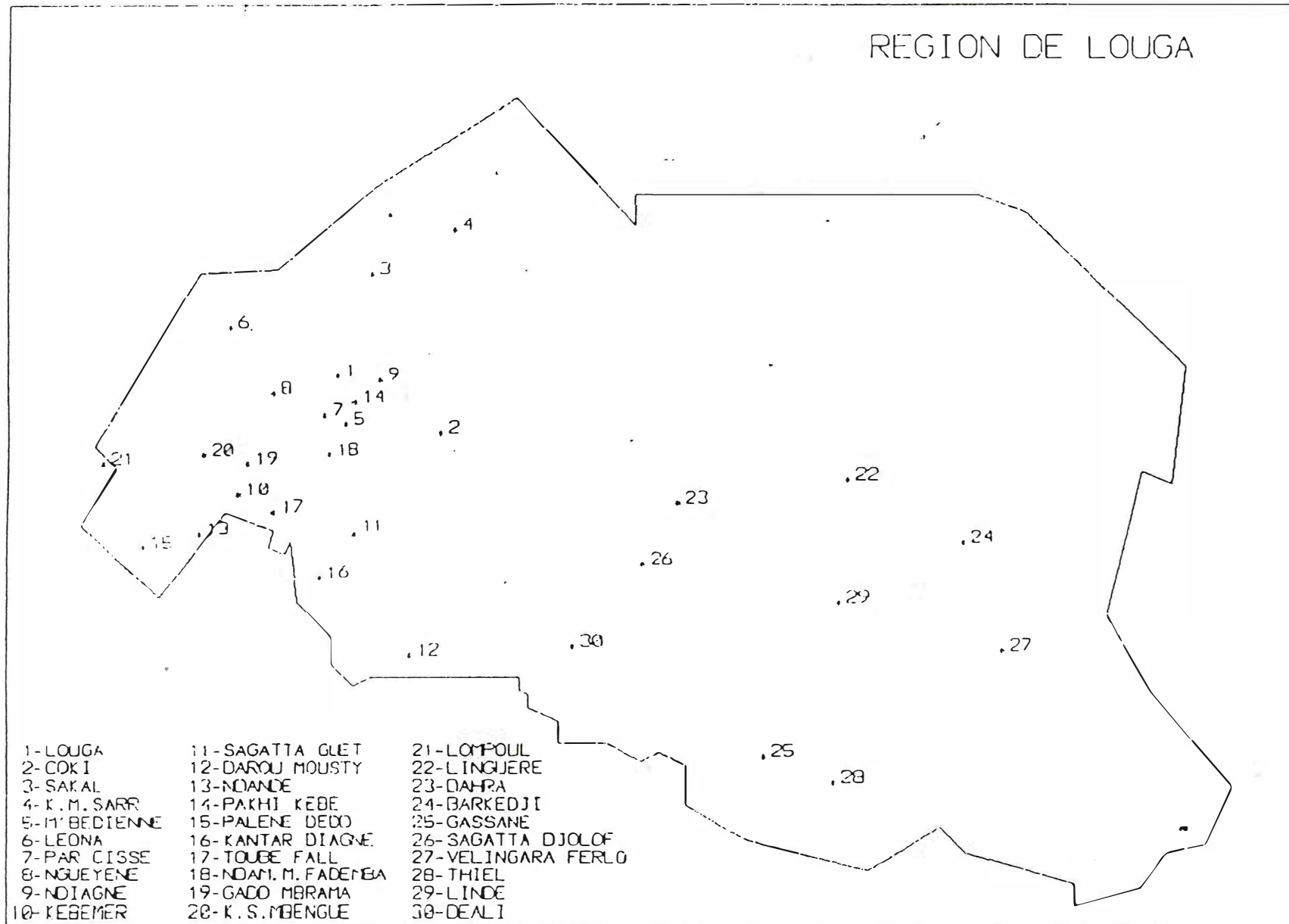


- Rendement grain du mil en fonction de IRESP2.POQM2
en station (sites de Bema, Koporo et Cinzana).



POSTES PLUVIOMETRIQUES

REGION DE LOUGA



SITE DE KOURE
OCCUPATION DES SOLS

Echelle 1/50000

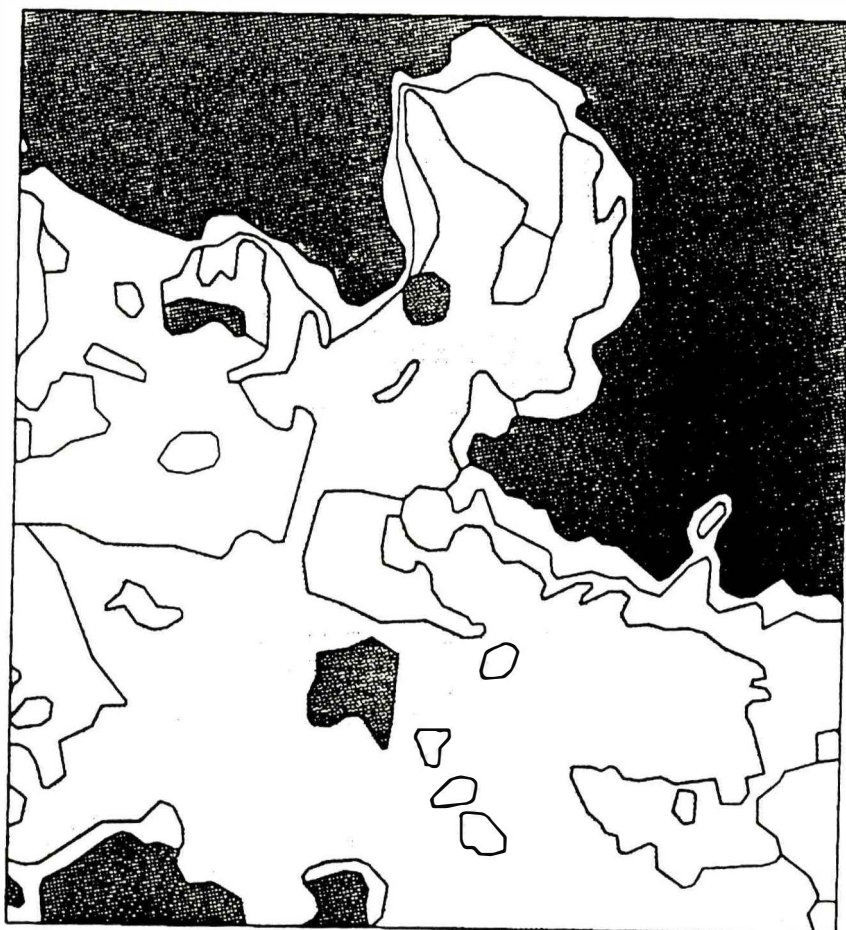
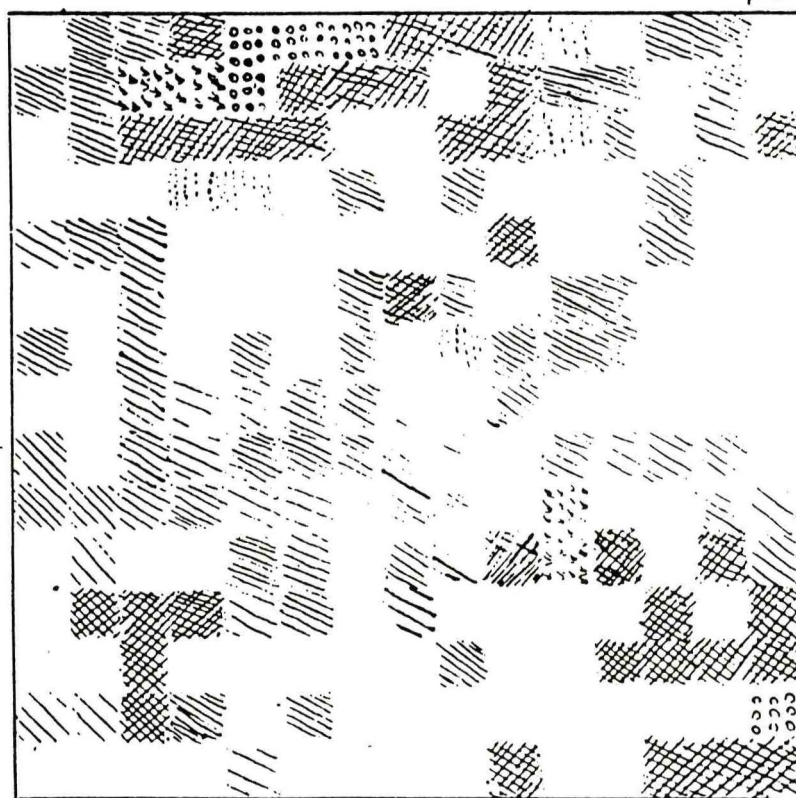


Schéma d'occupation des sols d'après sondage dans la région de Réo



**RENDEMENT MOYEN DU MIL EN RELATION
AVEC LES PRATIQUES CULTURALES**

Village	Moyenne Rendement			Moy. Ecartement		Nombre	
	Grains	Epis	Grains Paille	Ligne	Inter	Fumées	Parcelles
BENGOU	855.22	1414.48	3184	99.8261	78.5652	9	23
BOUGAR	694.52	1045.48	2191	109.087	103.565	0	23
CHIKAL	138.86	267.345	658.414	152.069	143.621	6	29
DARTIEN	548.97	849.793	2464.17	144.621	143.345	1	29
DIOUNDI	440.89	811.5	1844.71	141.786	123.393	1	28
HAMDALL	245.33	487.233	886.067	134	148	5	30
HARIKAN	216.80	371.467	697.2	132.733	127.2	16	30
KOURE	611.43	1163.83	2444.2	135.5	122.967	12	30
TORODI	1017.67	1418.33	2132.7	124.2	117.233	22	30
ZEBANFI	692.17	1080.63	2177.23	126	135.833	8	30
TOUS	537.01	877.103	1829.62	131.035	125.897	80	282

OBSERVATOIRES VILLAGEOIS P4AS - 1992

**RENDEMENT MOYEN - INDICATEUR HYDRIQUE - DEGRE
INTENSIFICATION FILIERE MIL - SITES P4AS 1992 NIGER**

OBSERVATOIRE	RENDEMENT OBSERVE KG/ha	IRESP1	F %	Nbp/m ²
TORODI	1 017	0,68....	70	0,70
BENGOU	855	0,71 ...	40 ...	1,20
BOUGAR	694	0,81 .	5 .	0,89
ZEBANFITI	692	0,75 ..	27..	0,58
KOURE	611	0,50 ...	40...	0,70
DIARTIENDE	548	0,71 .	5 .	0,50
DIOUNDIOU	440	0,69 \	0 .	0,58
MAMDALLAYE	245	0,60 ..	15..	0,50
MARIKANASSOU	216	0,46...-	50...	0,59
CHIKAL	139	0,37 ..	20 ..	0,45

SESSION 2

APPLICATIONS DU BILAN HYDRIQUE AGRICOLE



SESSION 2

UTILISATION DU BILAN HYDRIQUE POUR LE DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE EN PARCELLES DE MIL AU SENEGAL

Perspectives pour l'analyse du risque lié à l'interaction entre pratiques agricoles intensives et alimentation hydrique

Résumé de l'exposé présenté à la réunion AGER du 15/06/93

F.AFFHOLDER

1) Caractérisation des facteurs de la variabilité des rendements en mil dans le bassin arachidier

Des modèles simples de simulation du bilan hydrique permettent de simuler avec une précision satisfaisante l'alimentation hydrique d'une culture de mil placée dans des conditions non limitantes de fertilité, en l'absence de pertes en eau par ruissellement, d'enherbement adventice et de déprédateurs. Le rendement en grain d'une telle culture est bien corrélé avec un indicateur hydrique de productivité déduit du bilan hydrique et égal au produit de l'ETR de la culture cumulée sur l'ensemble du cycle, pondérée par le taux de satisfaction de ses besoins en eau à la phase sexuée.

Le rendement calculé en couplant simulation du bilan hydrique et indicateur de productivité représente ainsi le potentiel de production résultant du spectre des précipitations, de la réserve utile du sol et de sa profondeur, de la date de semis et des caractéristiques du cycle de la variété choisie, de la demande évaporative locale et de l'état hydrique initial du sol.

Appliquée à un échantillon de plus de cent parcelles de mil exemptes de dégâts causés par les déprédateurs et distribuées dans six villages répartis selon le gradient pedoclimatique dans le bassin arachidier, la mise en relation des rendements réels avec l'indicateur hydrique obtenu par cette méthode permet d'évaluer l'effet de la fertilité, de l'enherbement et des pertes en eau par ruissellement sur la variabilité des rendements (figure 1).

Une typologie grossière des situations agricoles est possible avec cette méthode en tenant compte de la fréquence des apports de fumure et de la qualité des sarclages (figure 2), et le diagnostic pourrait être notablement amélioré grâce aux nouveaux outils de caractérisation de la sensibilité au ruissellement des sols.

2) Diagnostic de l'interaction entre alimentation hydrique et fertilité

Le fait que la variabilité des rendements diminue lorsque la contrainte hydrique augmente pose le problème du risque lié à l'intensification en milieu sahélien: le gain de production lié à l'apport de fertilisants, par exemple, peut être insuffisant pour engendrer un gain de revenu significatif si les conditions hydriques sont défavorables.

Afin d'analyser ce phénomène, l'effet d'apports de fumures organiques sur l'alimentation hydrique et la productivité a été étudié au champ en milieu paysan et en station au cours de deux années relativement sèches. Dans une situation sur quatre, la fumure a eu un effet positif spectaculaire sur la production de grain, mais dans les autres l'effet a été très faible voire nul (figure 3).

La comparaison de l'évolution au cours du temps des ETR et des stocks hydriques sous culture mesurés in situ avec et sans apport de compost pour l'une des situations où la fumure n'a pas eu d'effet sur le rendement, révèle (figure 4):

- une consommation hydrique nettement plus importante en présence de compost que chez le témoin pendant la première moitié du cycle,
- une diminution plus rapide du stock hydrique sous la culture compostée liée à ce gain de consommation, lorsque l'offre pluviométrique devient inférieure aux besoins,
- une inversion de l'effet du compost sur l'ETR pendant la deuxième partie du cycle, imputable au fait que l'offre en eau du sol, devenue très faible sous la culture compostée, limite la transpiration alors que de l'eau reste disponible sous la culture témoin.

A cet effet pervers en feed-back de la demande hydrique de la culture sur l'offre en eau du sol, induit par la fertilisation en année sèche, s'ajoute un ajustement des besoins en eau de la plante à l'offre par réduction de la surface foliaire verte provoquée par le stress hydrique (figure 5).

Ce phénomène, lié à l'effet de la fumure sur la demande en eau de la plante n'est pas compensé par un éventuel effet positif du compost sur l'offre: les propriétés hydrodynamiques du sol ne sont pas modifiées par la matière organique, qui se minéralise extrêmement vite dans ces sols (CISSE et VACHAUD, 1987), et le front d'humectation descend moins profond sous la culture compostée que sous témoin (figure 6), du fait de la plus forte ETR, limitant l'effet positif de la matière organique sur l'enracinement aux horizons de surface (figure 6).

Dans cette situation, l'effet positif du compost sur l'ETR jusqu'à la floraison entraîne un effet positif sur le nombre de grains par unité de surface et l'effet négatif à la maturation un effet négatif sur le remplissage des grains, tel que l'effet du compost sur la production de grains est nul, alors que dans une autre situation où les conditions hydriques ont permis un effet positif de la fumure organique sur l'ETR à toutes les phases du cycle, l'effet de la fumure est positif sur le nombre de grains par mètre carré et sur le remplissage des grains, d'où un effet nettement positif sur le rendement (figure 7).

A la grande variabilité de l'intensité de cette action perverse de la fumure sur l'alimentation hydrique (figure 8), correspond une grande variabilité de l'effet de la fumure sur la production de grains en année sèche, l'effet sur la production de paille restant généralement positif (figure 9).

Enfin ce phénomène, lié au développement végétatif de la culture est probablement généralisable à d'autres pratiques intensives que la fertilisation.

3) Perspectives pour la problématique du risque lié aux pratiques intensives en milieu sahélien

Avec des modèles de simulation de culture prenant en compte l'interaction des pratiques culturales avec l'alimentation hydrique, on peut concevoir de quantifier le risque lié à cette interaction, par des études fréquentielles de rendement réalisées à partir des séries chronologiques de pluies.

Avec l'appui des sciences sociales, on pourrait ainsi optimiser ces pratiques à l'échelle de la parcelle et les stratégies de leur mise en oeuvre dans l'espace.

Il n'existe pratiquement pas de modèle de culture adapté au cas des mils cultivés en Afrique sahélienne. Des évaluations du risque lié à la fertilisation ont pu être réalisées pour la culture de maïs au Kenya à l'aide du modèle CERES (KEATING et al, 1990), mais l'utilisation de tels modèles s'avère limitée car:

- leur grande sensibilité aux paramètres d'entrée limite les possibilités d'extrapolation par rapport aux milieux où ils sont validés
- les nombreuses validations ainsi rendues nécessaires pour des études régionales sont elles-même limitées par le nombre élevé de paramètres à mesurer.

Il paraît donc judicieux d'évaluer l'aptitude de modèles simples et robustes à rendre compte des interactions entre pratiques culturales et alimentation hydrique.

Grâce à une relation empirique entre l'indice de surface foliaire (LAI) et les besoins en eau de la culture (figure 9), l'emploi du modèle de bilan hydrique journalier simplifié BIPODE suffit, lorsqu'on connaît l'évolution du LAI au cours du cycle, à simuler avec précision le bilan hydrique pour des niveaux variés de fertilité tant que la descente des racines est limitée par le front d'humectation (figure 10).

A partir d'un indice caractérisant grossièrement la fertilité en tenant compte de la fréquence des apports de fertilisants et de la teneur en éléments fins du sol, il est possible de paramétrer des fonctions reliant cet indice au LAI atteint par la culture à la floraison et à la vitesse de croissance des racines de façon à obtenir une simulation correcte du bilan hydrique pour une trentaine de situations suivies in situ en milieu paysan et en station pour des niveaux de fertilité variés (figure 11).

Le calcul de l'indicateur hydrique de productivité à l'aide du bilan hydrique simulé par cette méthode, appliqué à un sous-échantillon des parcelles enquêtées en milieu paysan dans le bassin arachidier et pour lesquelles aucune contrainte de ruissellement, d'enherbement ou liée aux déprédateurs n'avait été repérée, fait apparaître une bonne corrélation entre cet indicateur et les rendements mais la précision de l'estimation s'avère mauvaise pour certaines parcelles dont le modèle a sous-estimé l'alimentation hydrique (figure 12).

On pourrait soupçonner le caractère grossier de l'indice de fertilité d'être à l'origine de cette imprécision, mais un test systématique en donnant des valeurs aléatoires à la fertilité des parcelles en cause a été réalisé sans effet notable sur la précision de l'estimation.

Or une autre simplification importante a été réalisée: l'effet de la contrainte hydrique sur le LAI qui entraîne une régulation de la demande par rapport à l'offre, n'a pas été pris

en compte, alors que ce phénomène peut déformer sensiblement l'évolution dans le temps de la surface foliaire par rapport aux courbes obtenues en l'absence de contrainte (figure 13), utilisées par le modèle pour extrapoler le LAI à partir de la valeur maximale déduite de l'indice de fertilité.

Il serait donc intéressant de tenter d'introduire dans le modèle une fonction simple de régulation de la demande par le stress hydrique, et d'évaluer le gain de précision obtenu.

La figure 14 est donnée à titre d'exemple, avec l'utilisation du modèle relativement imprécis rapidement décrit plus haut, pour illustrer le type de comparaison régionale qui serait permise avec un outil moins grossier.

Figure 1:
Indice hydrique de productivité potentielle et rendements réels du mil en milieu paysan
(bassin arachidier sénégalais)

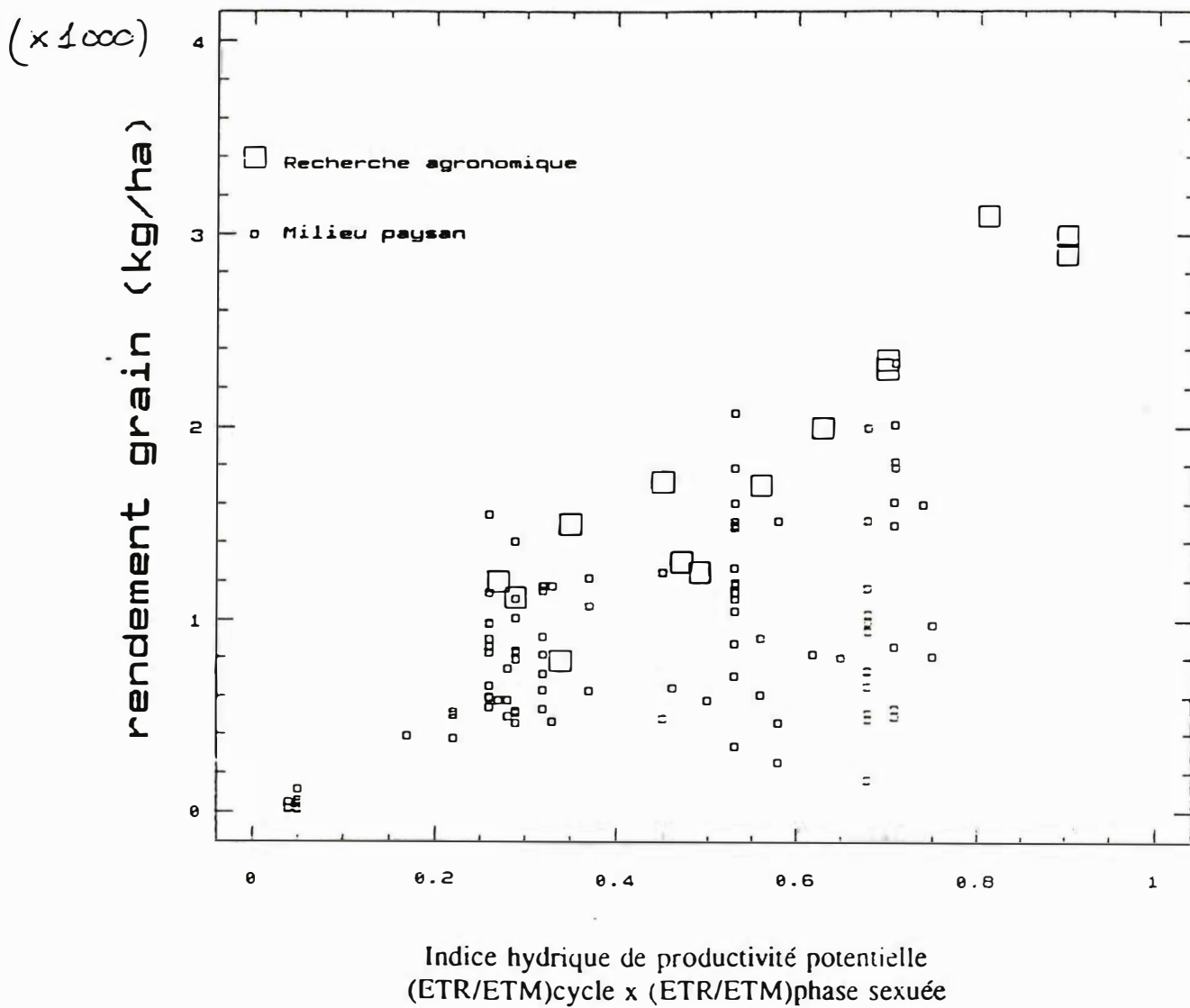
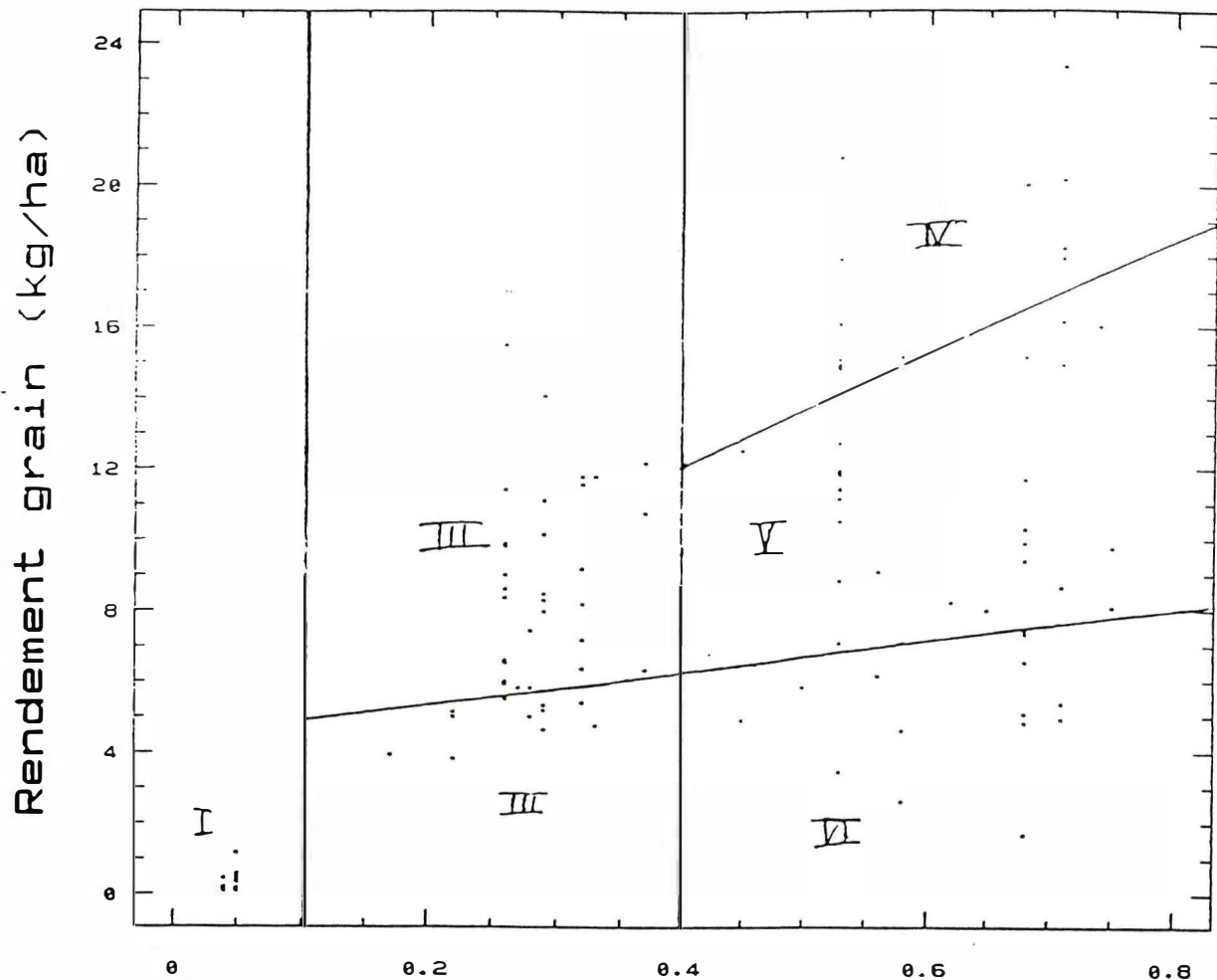


Figure 2 : **categories de la typologie
des situations culturelles**

(x 100)



Indice hydrique de productivité potentielle

$$I_{resp} = (ETR/ETM)_{cycle} \times (ETR/ETM)_{phase\ sexuelle}$$

- catégorie I: $I_{resp} < 0.1$: Conditions hydriques extrêmement limitantes. Variabilité très faible des rendements, production ne suffisant en général pas à couvrir les frais de récolte.

- catégorie II: conditions hydriques limitantes avec emploi régulier de fumure. Influence parfois perverse de la fertilisation sur la réponse aux conditions climatiques. Productions proches du potentiel à inférieures au potentiel (de 100% à 50%).

- catégorie III: conditions hydriques limitantes. Recours à la fumure moins d'une année sur trois. Rendements très inférieurs au potentiel (<50%).

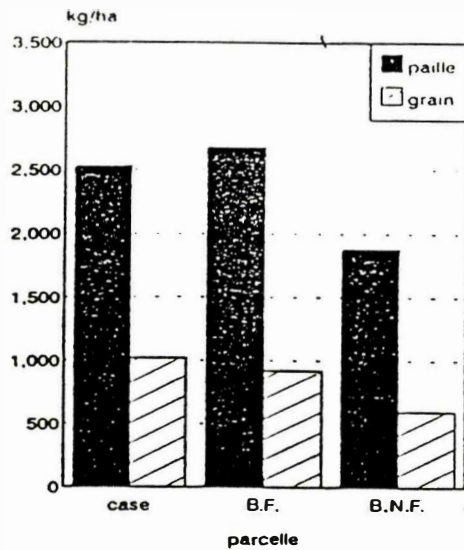
- catégorie IV: conditions hydriques moyennement limitantes à peu limitantes. Fertilisation organique et parfois minérale deux à trois années sur trois. Calendrier de sarclages correct. Rendements très proches du potentiel.

- catégorie V: conditions hydriques moyennement limitantes à peu limitantes. Fertilisation régulière mais peu fréquente (une année sur trois) et sarclages tardifs, ou fertilisation plus fréquente mais sarclages nettement bâclés, ou fertilisation plus rare mais sarclages mieux conduits. Rendements inférieurs au potentiel (80 à 30 % du potentiel). Influence très probable sur les rendements de la situation de la parcelle vis à vis du ruissellement.

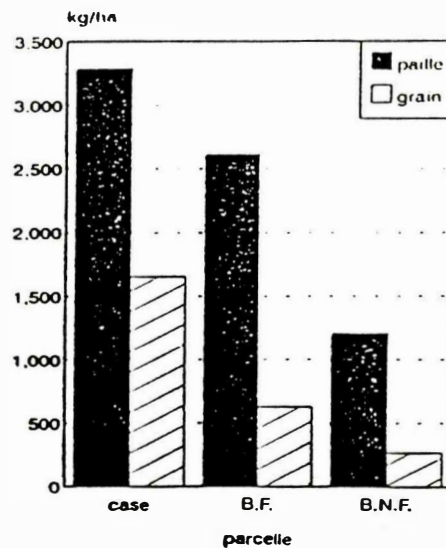
- catégorie VI: conditions hydriques moyennement limitantes à peu limitantes. Recours à la fertilisation organique moins d'une année sur trois et sarclages bâclés. Rendements très inférieurs au potentiel (<30% du potentiel).

Figure 3 : effet variable sur la production des apports de fumure

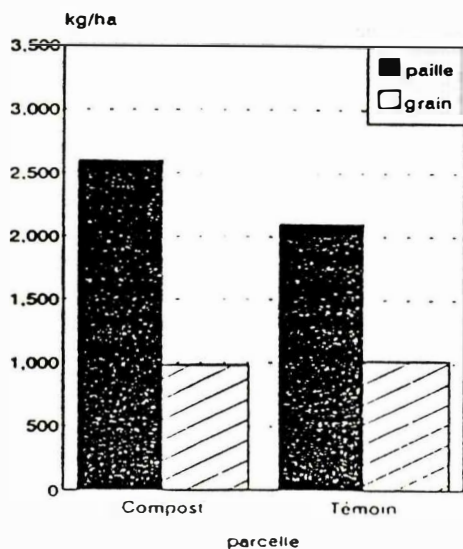
a) Sob 1990



b) Sob 1991



c) Bambey 1990



d) Bambey 1991

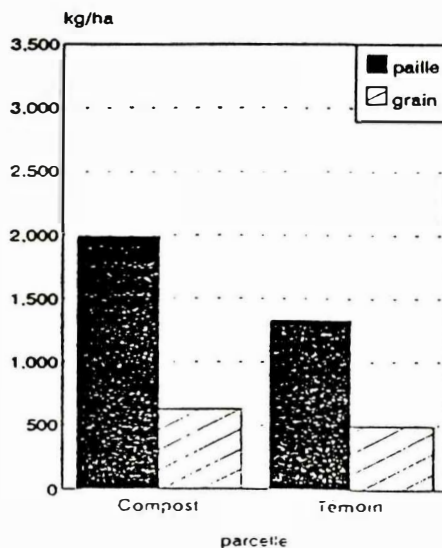
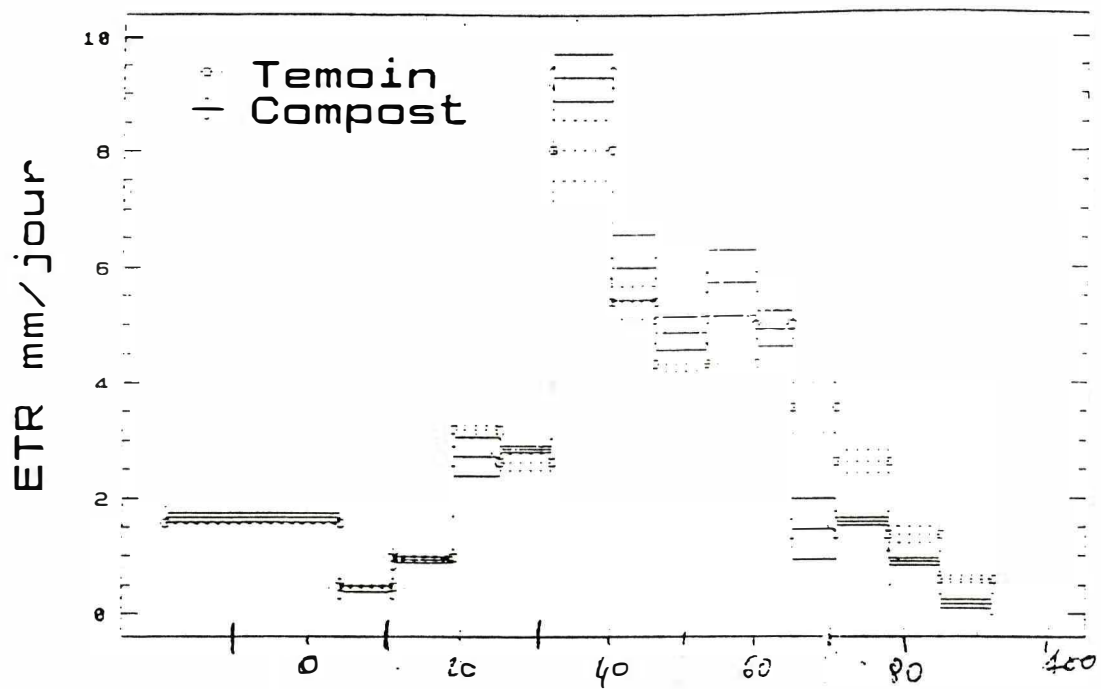


Figure 4

ETR moyennes du mil au cours du temps



Date en jours apres levee (levee 17/08)

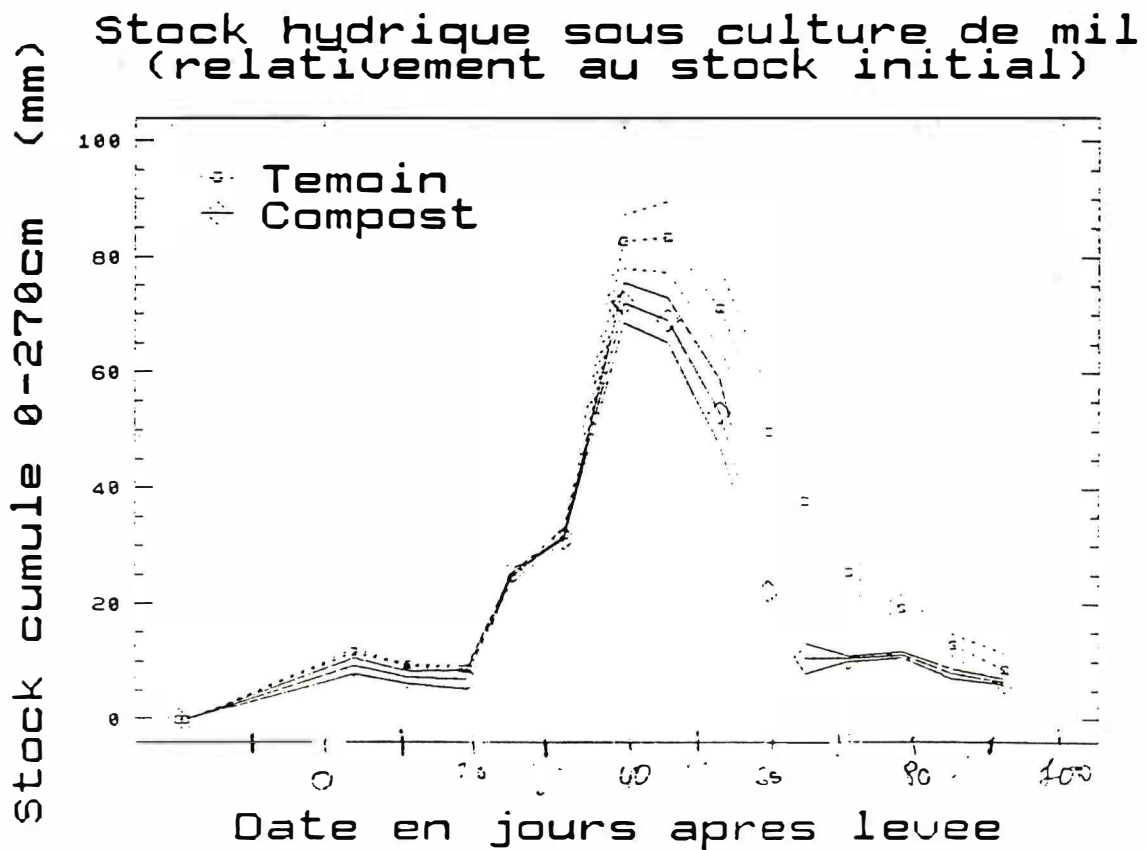


Figure 5

Réduction précoce de la surface foliaire verte et stress hydrique induit par la fumure.

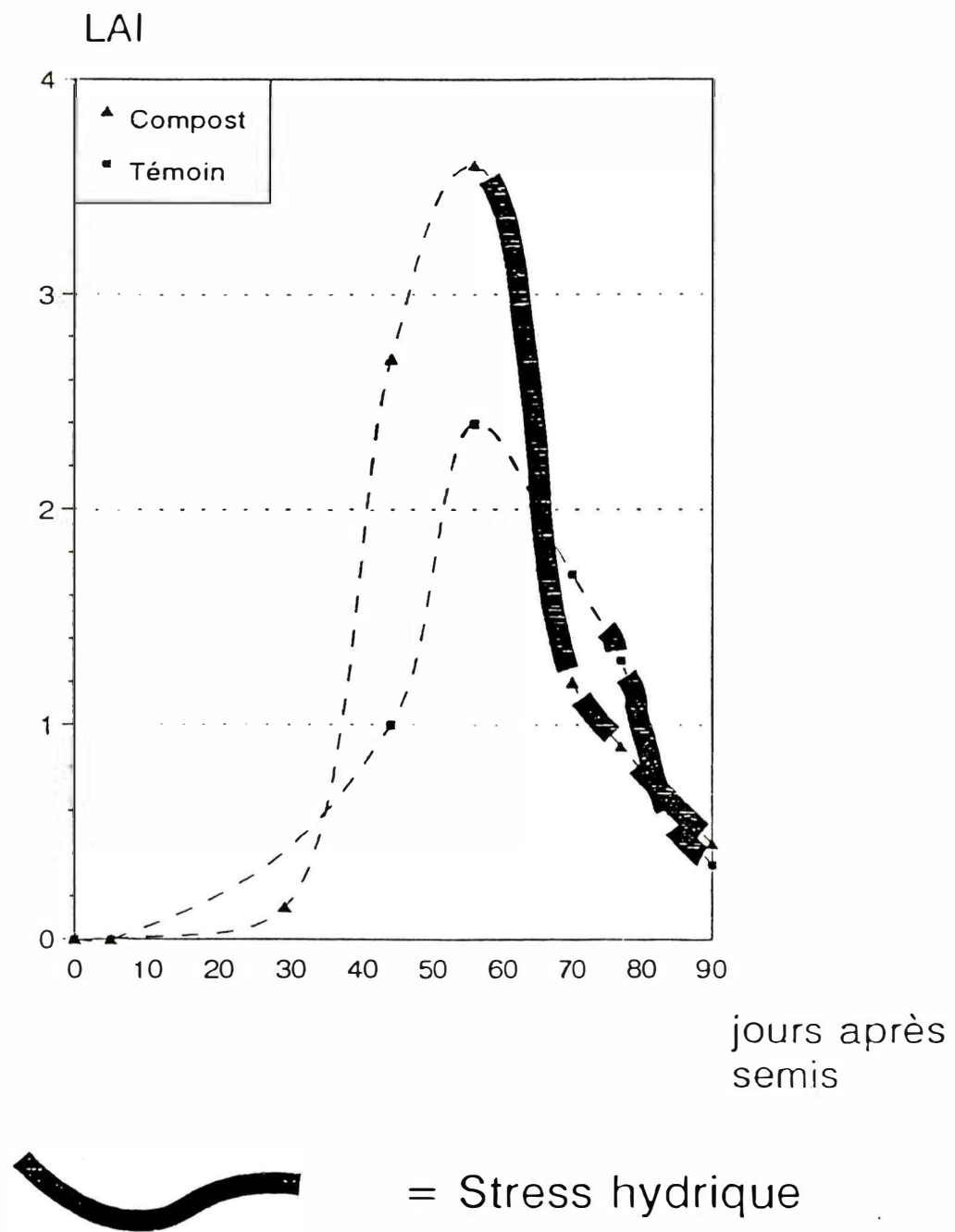


Figure 6a: Densités racinaires à Bambey

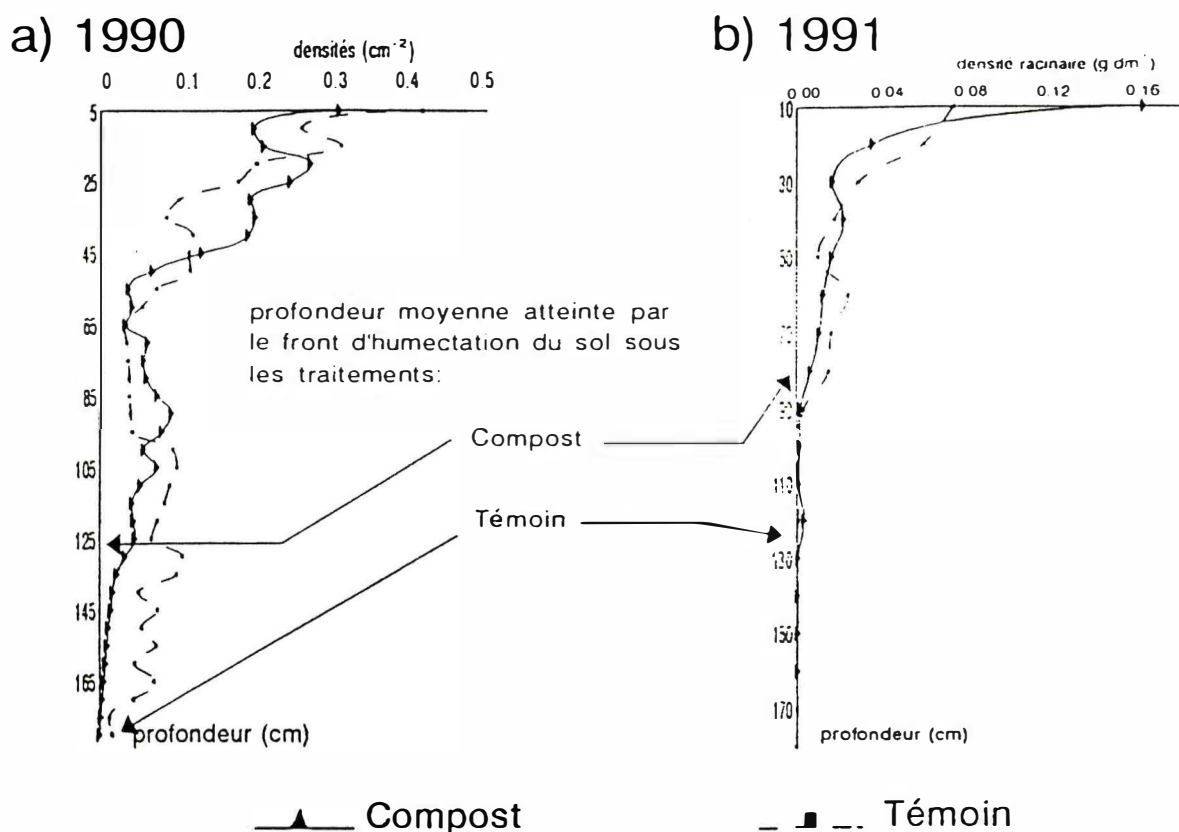


Figure 6b: descente du front d'humectation du sol à Bambey en 1991

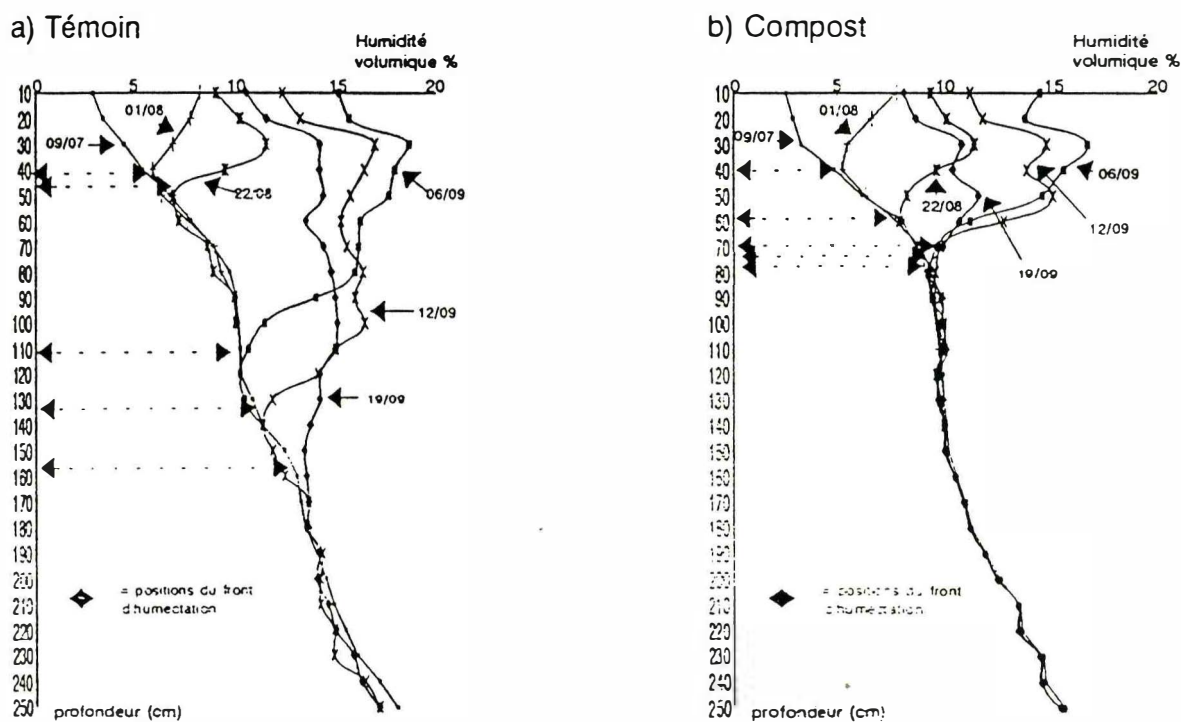
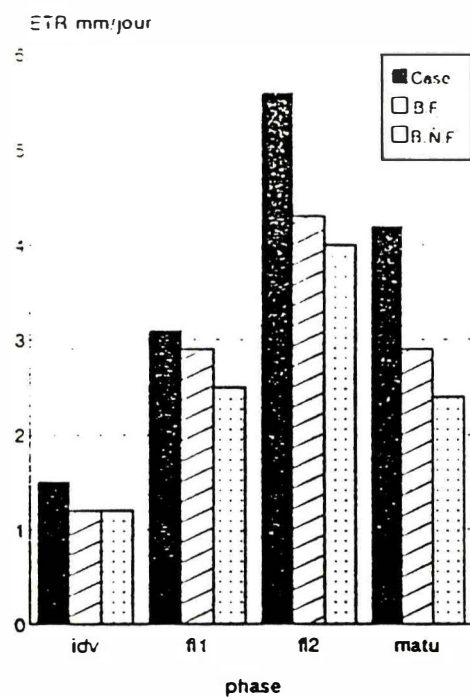
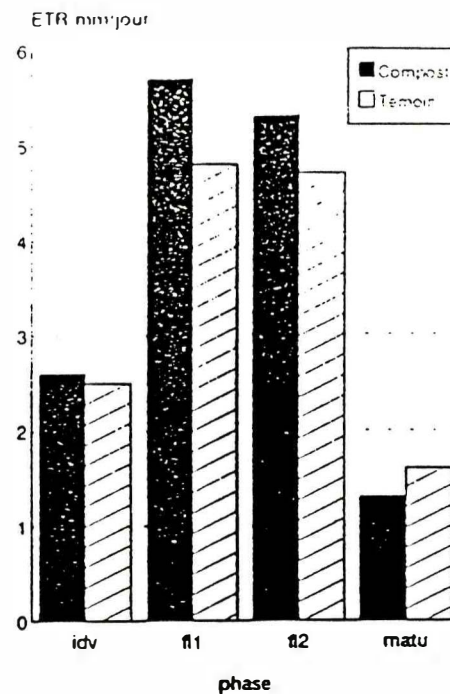


Figure 7

Soh 1991



Bambey 1991



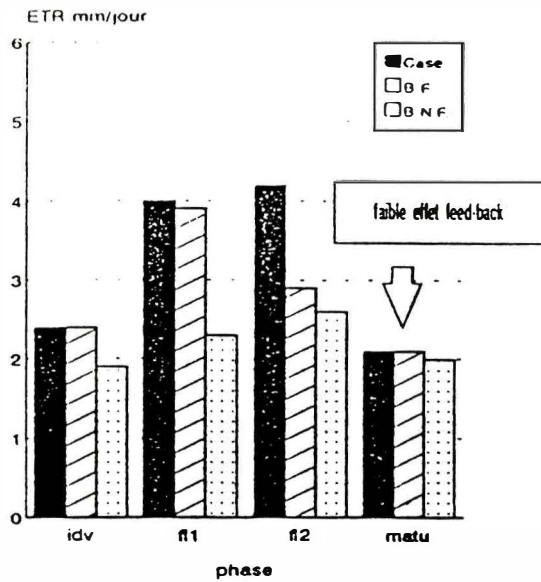
		Nombre de grains/m ²	Poids de mille grains (g)	Rendement (kg/ha)
Soh	Case	25525	6.48	1654
	Brousse non fumé	4770	5.64	269
Bambey	Compost	12108a	5.21b	631a
	Témoin	7968b	6.20a	494a

(seuil: 1%)

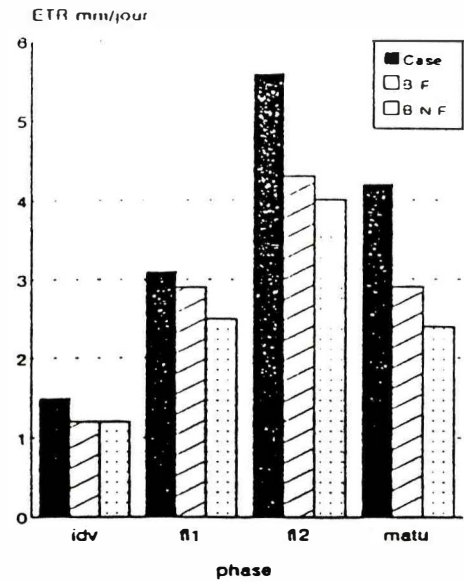
Figure 8

Intensité variable de l'effet pervers en feed-back de la fumure sur l'alimentation hydrique du mil

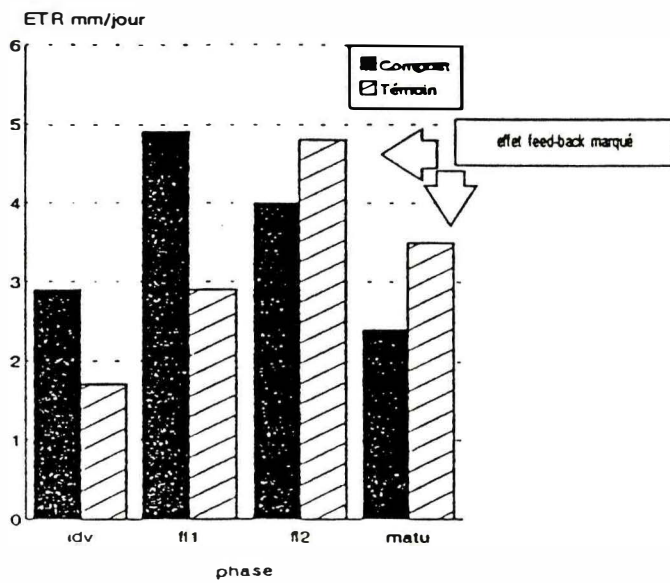
a) Sob 1990



b) Sob 1991



c) Bambey 1990



d) Bambey 1991

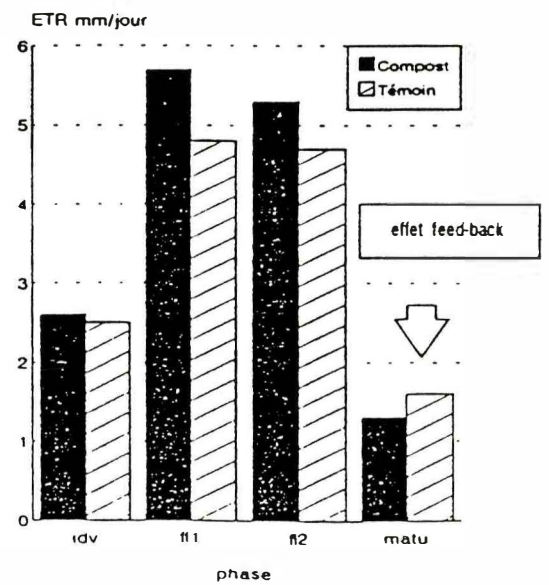
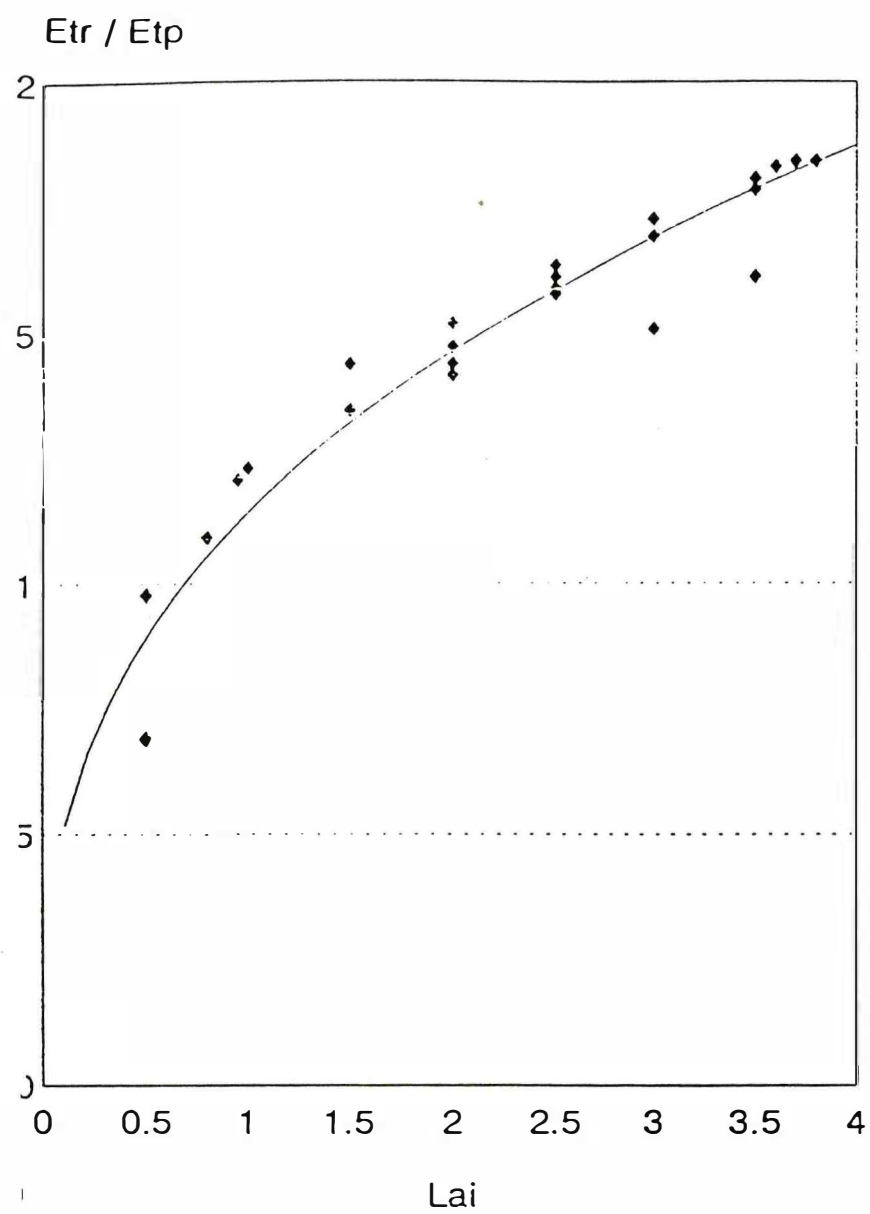


Figure 9

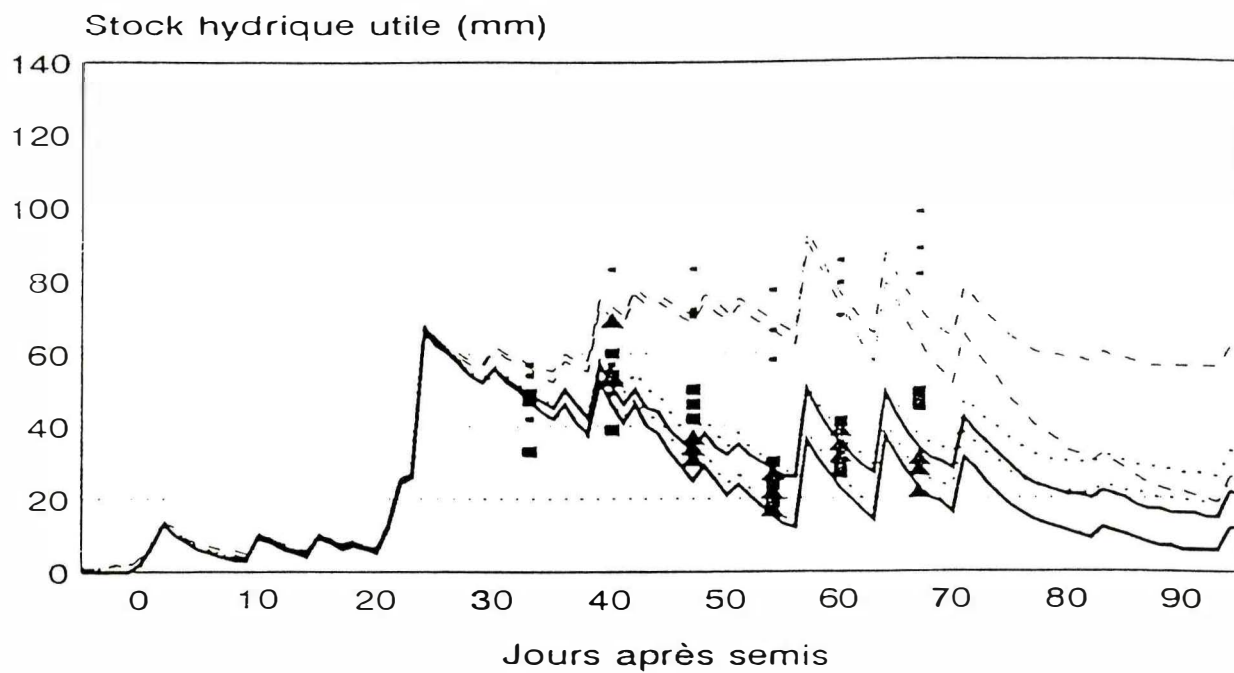


: Relation entre l'indice de surface foliaire (LAI)

et l'évapotranspiration relative (E_{tr}/E_{tp}) à conditions hydriques du sol non limitantes

Figure 10

stocks hydriques sous culture de mil au cours du temps (parcelles de Sob)
a) 1990



b) 1991

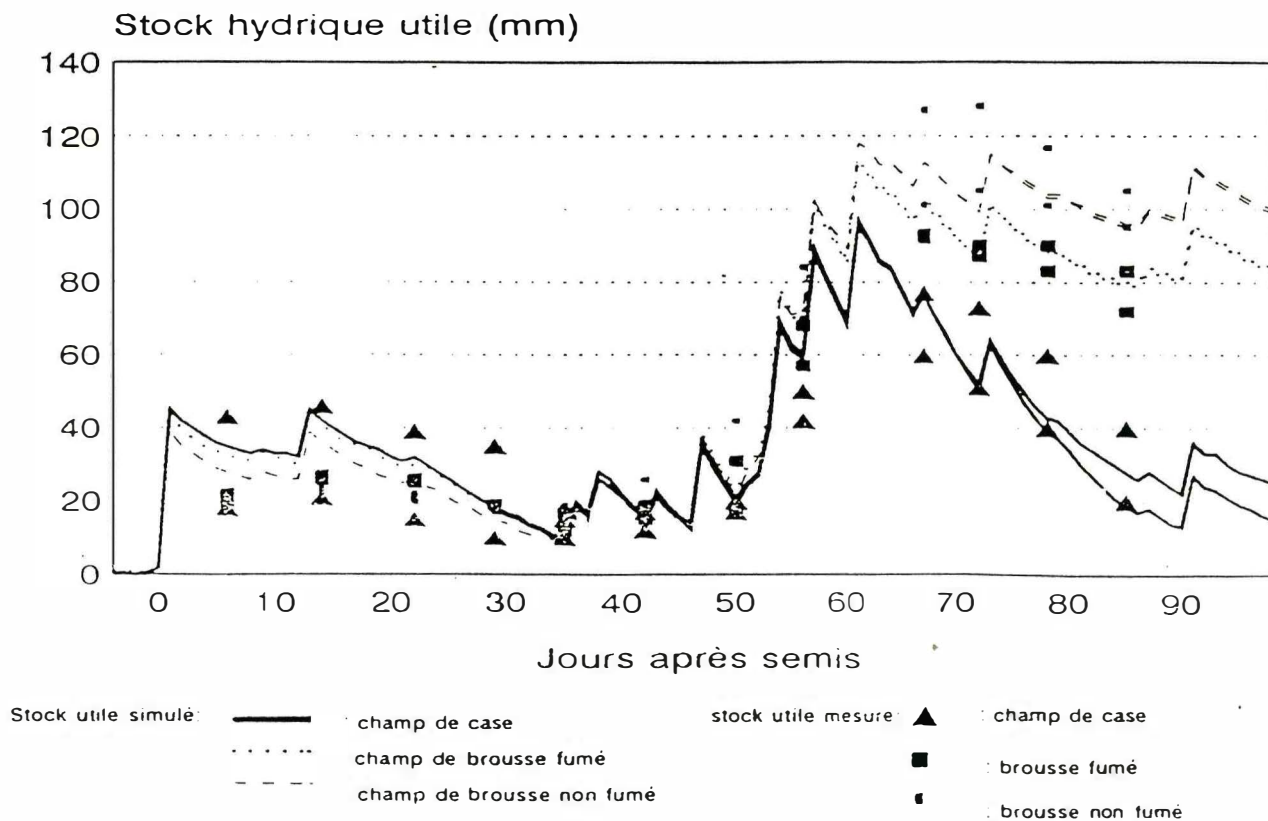


Figure 11

tr mesurées et simulées du mil

modèle journalier avec effet de la fertilisation

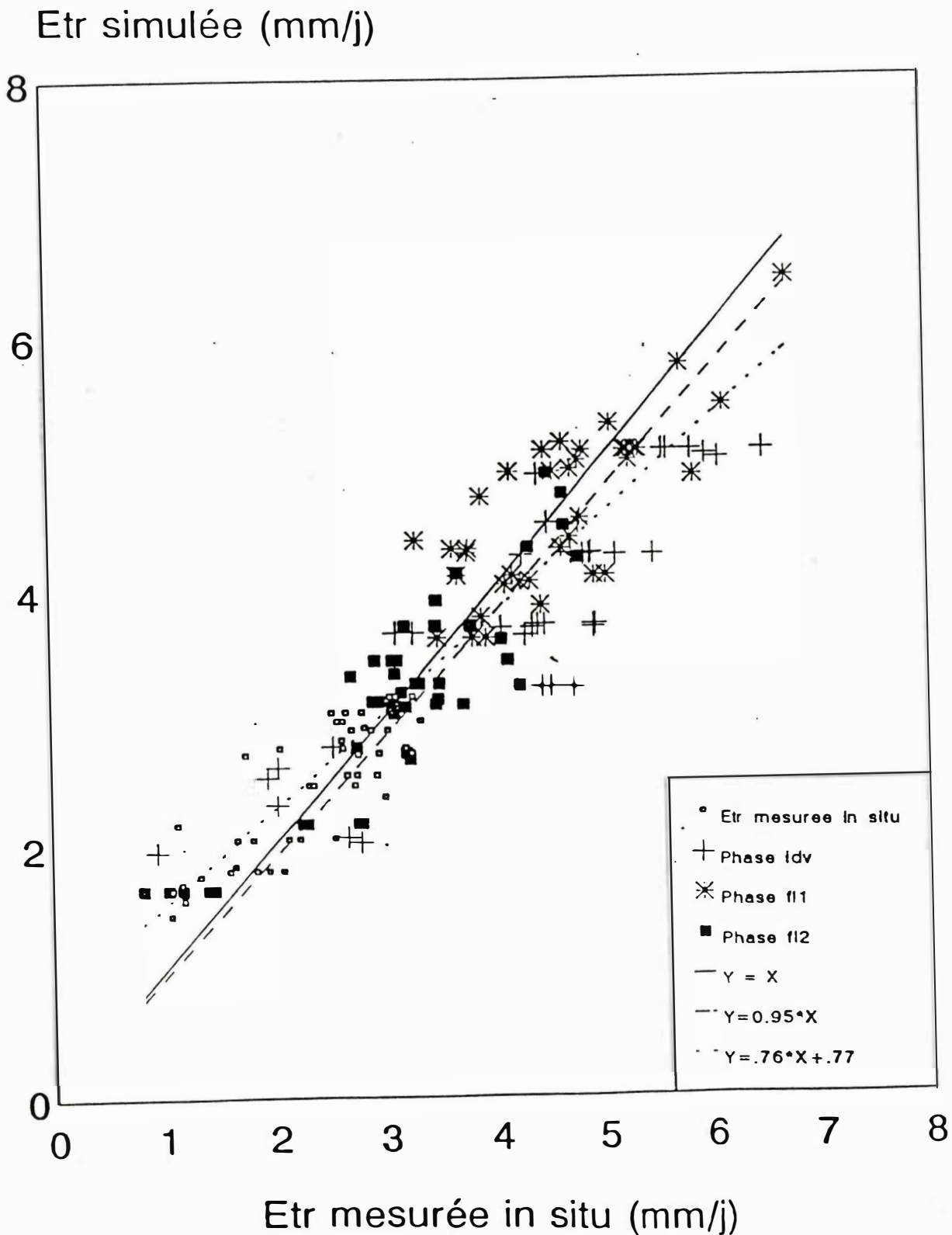


Figure 12: rendement mesuré et indice hydrique de productivité calculé avec une prise en compte grossière de la fertilité

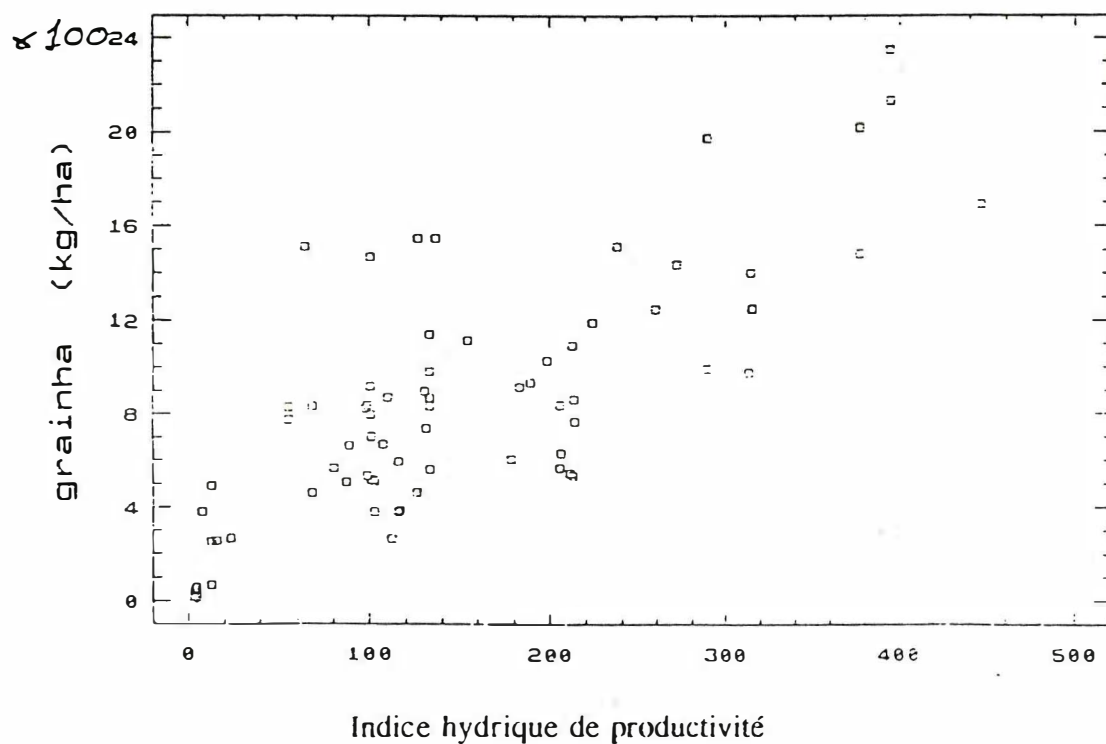
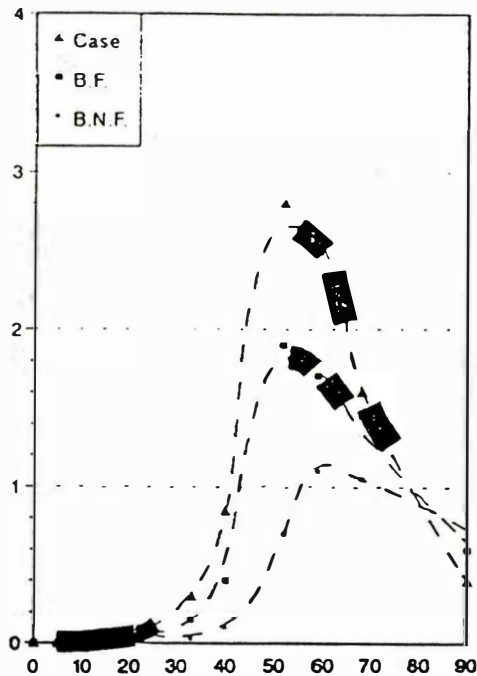


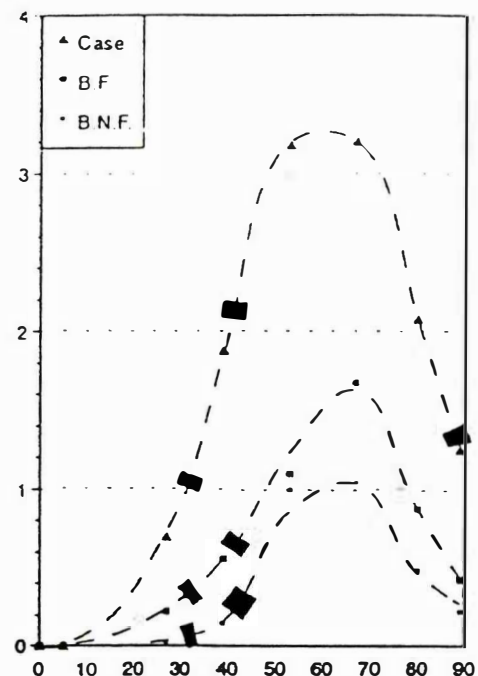
Fig. 13

Effet de l'interaction entre fumure et stress hydrique sur le développement aérien du mil

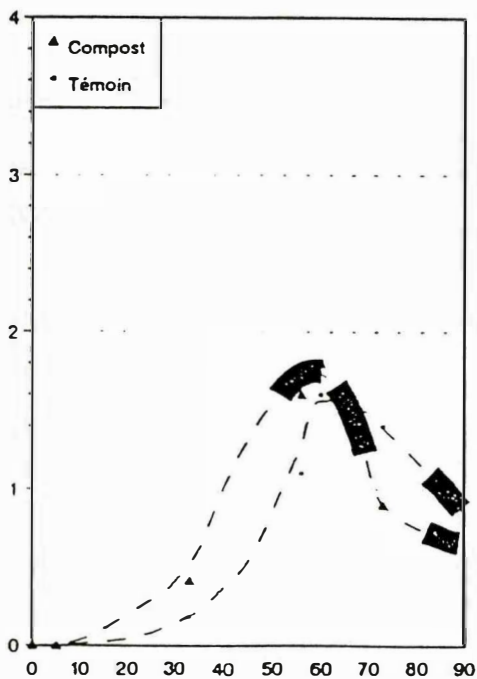
a) Sob 1990



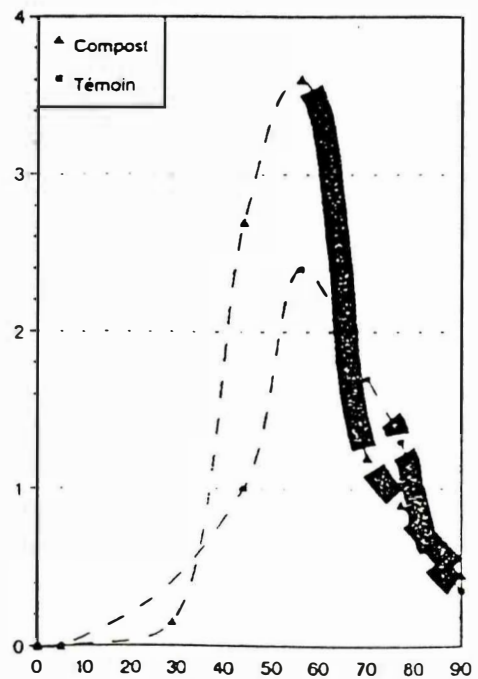
b) Sob 1991



c) Bambey 1990



b) Sob 1991




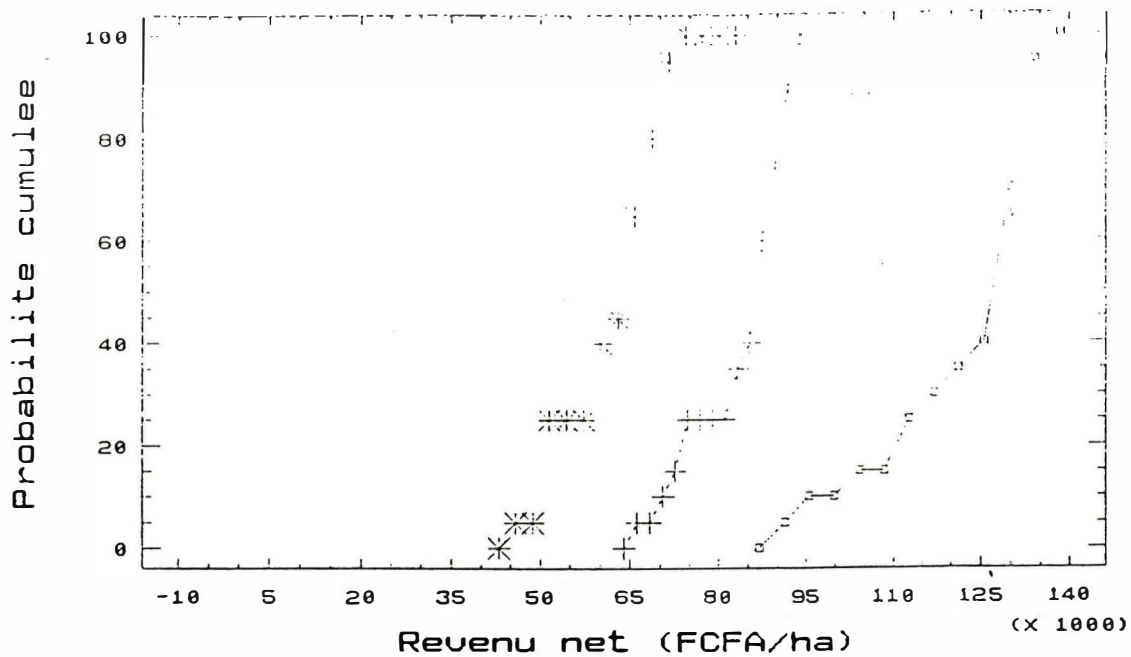
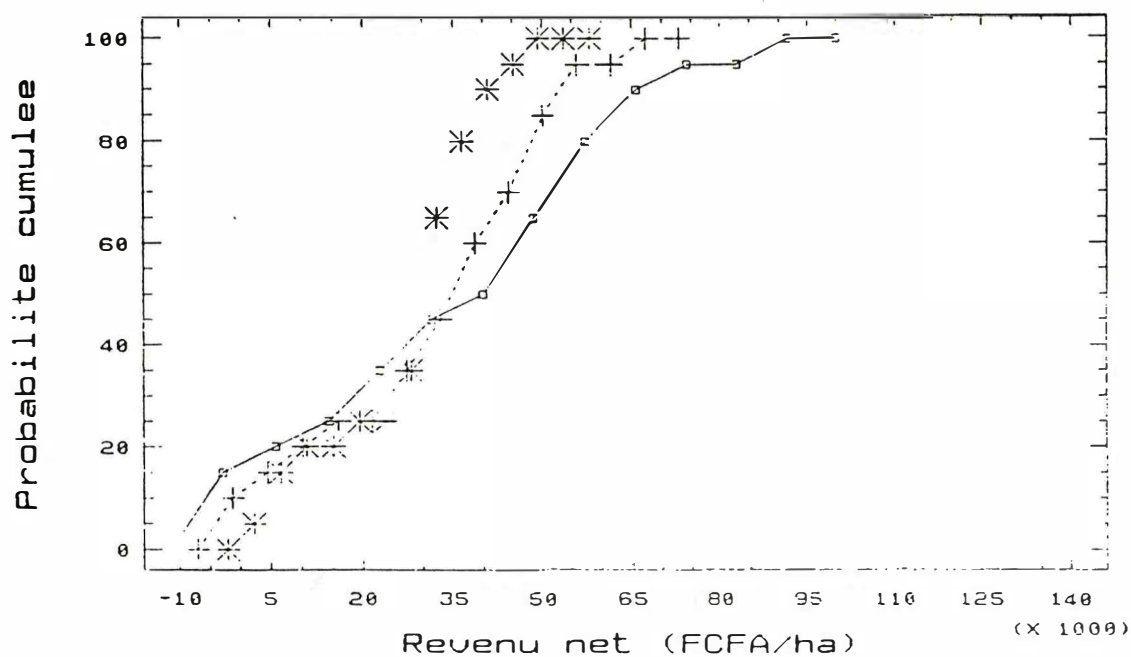
 : Stress hydrique

Fig. 14

Nioro



Louga



SESSION 2

DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE ET BILAN HYDRIQUE AGRICOLE

FACTEURS VARIETAUX

PHOTOSENSIBILITE DU SORGHO ET DU MIL ET ADAPTATION A LA RESSOURCE EN PLUIES AU MALI

Michel VAKSMANN
Seydou TRAORÉ

PLAN

MII

DATE DE SEMIS ET PHOTOSENSIBILITE

DIFFERENCES VARIETALES DE PHOTOSENSIBILITE

PHOTOSENSIBILITE ET IRESP INTERANNUEL

SORGHO

DATE DE SEMIS ET PHOTOSENSIBILITE

DIFFERENCES VARIETALES DE PHOTOSENSIBILITE

PHOTOSENSIBILITE VARIETALE ET FIN DE SAISON DES PLUIES

ZONAGE VARIETAL SORGHO DU MALI

VARIETES PHOTOSENSIBLES DE MIL

Transparent: DATE DE SEMIS

4 dates de semis sur le site de Cinzana avec 1 variété non photopériodique, une strictement photopériodique et deux locales.

Les variétés locales NKK et M9D3 ajustent leur durée de cycle à l'arrivée des pluies. de Sanyo a une durée trop longue pour la saison des pluies moyenne de Cinzana.

Transparent: IRESP

Simulé à partir de 30 années de pluviométrie l'IRESP moyen est meilleur chez les variétés locales NKK et M9D3.

VARIETES PHOTOSENSIBLES DE SORGHO

L'objectif est de prévoir en tout localité du Mali la date de mise à fleur de 3 variétés de sorgho photosensibles selon les dates de semis. Pour cela la photopériode à l'initiation paniculaire a été reliée à la durée levée-feuille drapeau. L'expérimentation, aussi à Cinzana, a comparé les phases de développement de 7 dates de semis échelonnées du 15 mai au 5 août. Origine des variétés: ICSV 401 Nord du Burkina, 500mm; CSM 219 Kayes, 676mm; CSM 388 Koutiala, 955 mm.

Transparent: DATE DE SEMIS

Ce schéma indique que la durée de la période levée-feuille drapeau est réduite pour les variétés CSM219 et CSM388.

Transparent: PHOTOPÉRIODE

La durée de la période végétative est une fonction hyperbolique de la durée du jour. Ce modèle simplifie ceux de FRANQUIN et HAMMER.

Les pentes des réponses des variétés ICSV et CSM différent. Les deux cultivars CSM se distinguent par la photopériode critique.

Transparent: ECART ENTRE FLORAISON ET FIN DE SAISON DES PLUIES

Dans leurs sites d'origine, les écarts entre les dates de floraison des deux variétés locales et de fin des pluies coïncident avec une probabilité de 0,5. Pour les autres variétés l'écart D à la probabilité 0,5 est soit décalé vers les valeurs négatives entraînant une floraison trop précoce, soit décalé vers les valeurs positives entraînant une floraison trop tardive.

Transparent: ZONAGE VARIETAL SORGHO DU MALI

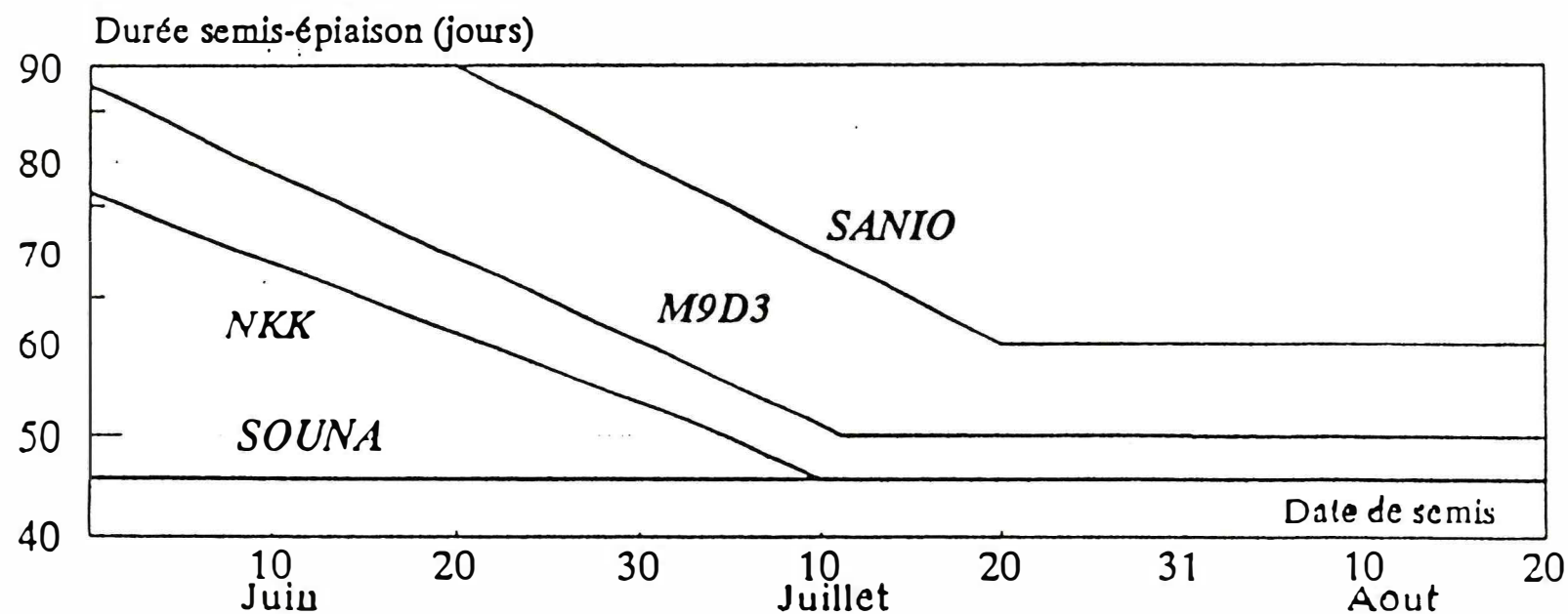
Les lignes d'adaptation correspondant à $D=0$ des trois variétés signifient qu'au Nord les risques de déficit hydrique post-florales augmentent et qu'au sud le semis par rapport aux début des pluies est à envisager pour éviter les moisissures.

En conclusion le diagnostic agronomique du sorgho au Mali et plus généralement en milieu soudano-sahélien a été amélioré.

La date de semis et la photosensibilité des variétés ont des répercussions considérables aussi bien sur la longueur de cycle que sur la valorisation des pluies, et l'utilisation des éléments minéraux. La pratique du semis précoce en milieu paysan n'est concevable que si les variétés ajustent leur cycle aux caractéristiques du climat. Ceci explique les faibles taux de pénétration des variétés améliorées dépourvues de photosensibilité.

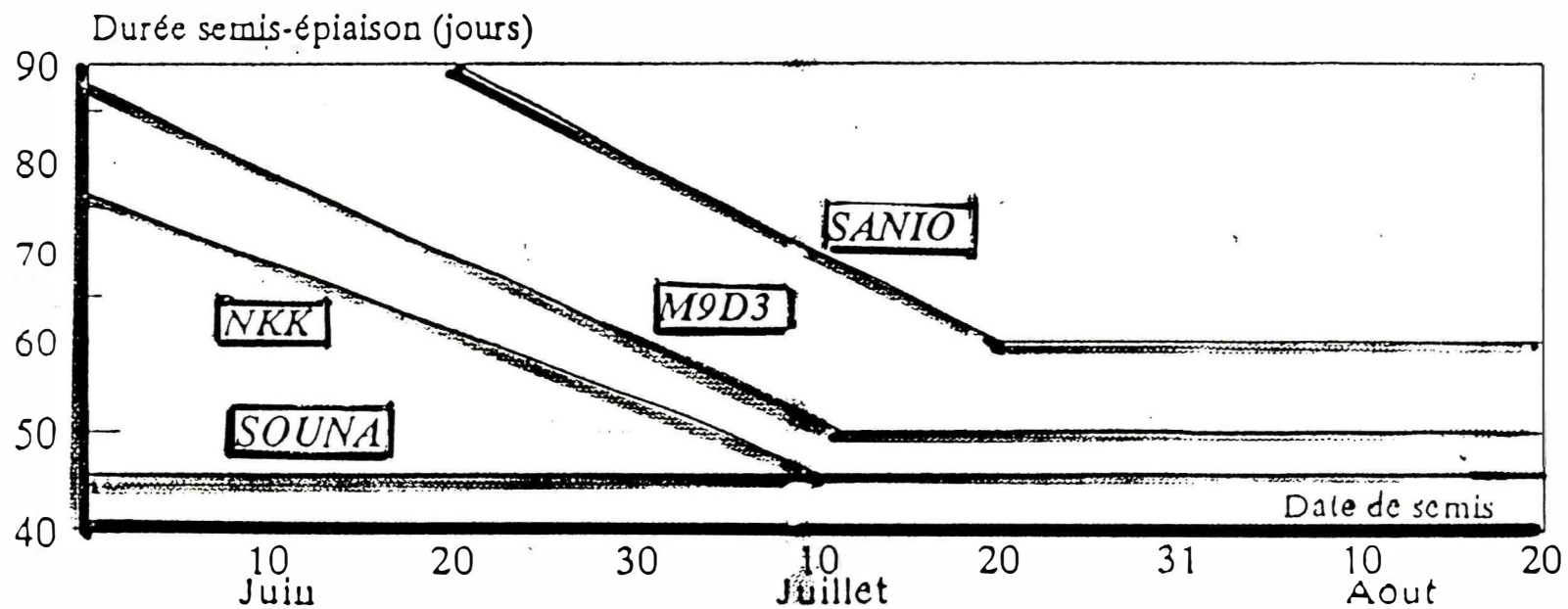
PHOTOSENSIBILITE DU MIL A CINZANA

REPONSE DE LA DATE DE SEMIS ET DES VARIETES



PHOTOSENSIBILITE DU MIL A CINZANA

REPOSE DE LA **DATE DE SEMIS** ET DES **VARIETES**



4 L'effet photopériodisme sur l' IRESP : exemple du mil.

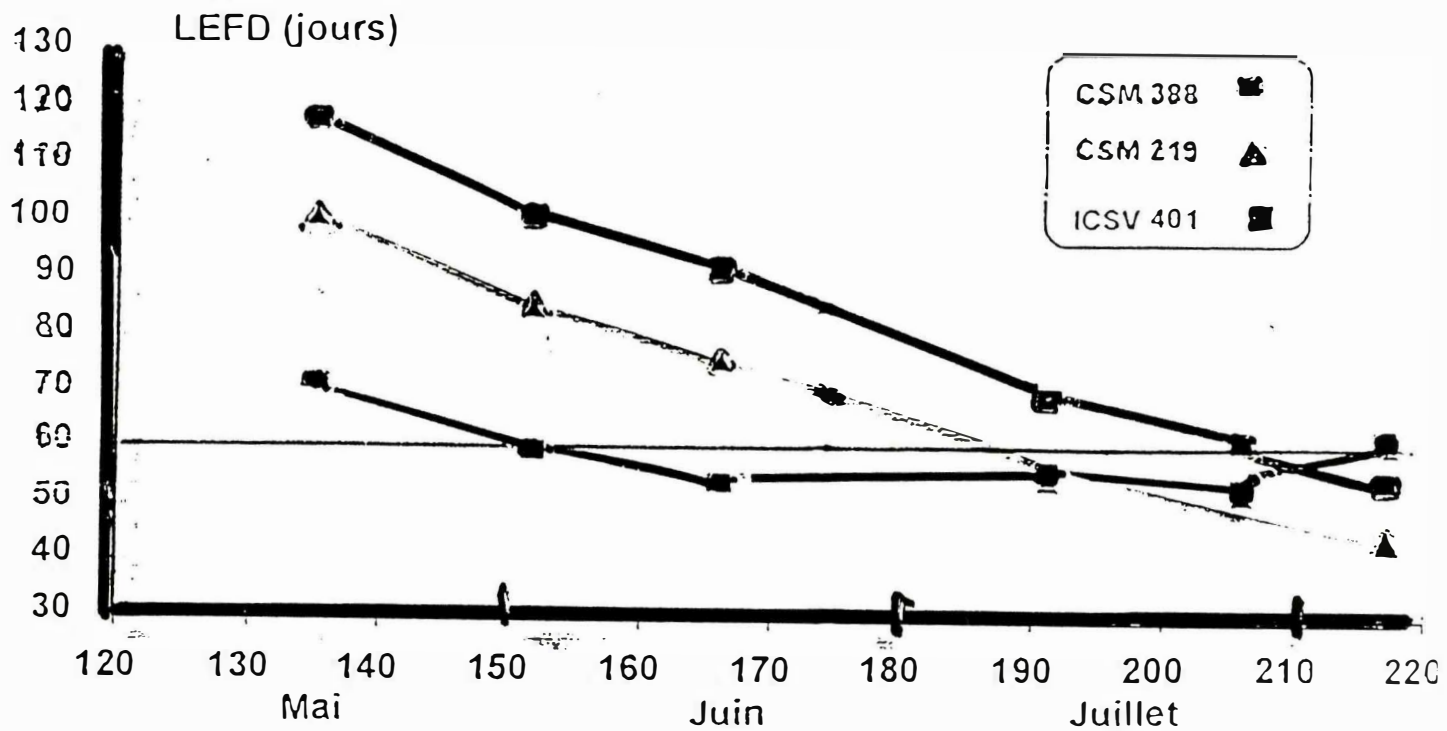
4 Photoperiodism effect on IRESP : example of millet

	VARIETE VARIETY	Taux de satisfaction en % water need satisfaction			ETR (mm)	IRESP
		CV	FL FLOWERING	CYCLE		
CYCLE COURT SHORT CYCLE PHOTOPERIODISME ADAPTE ADAPTED PHOTOPERIODISM	SOUNA	0.87	0.88	0.87	272	239
	NKK	0.91	0.92	0.89	328	302
	M9D3	0.93	0.90	0.86	348	313
	SANIO	0.95	0.78	0.77	356	278
PHOTOPERIODIQUE STRICTE STRICT PHOTOPERIODISM	SOUNA tardif	0.96	0.91	0.90	275	250

d'après VAKSMAN et TRAORE

SORGHO

Figure n° 1 - Durée en jours de la phase levée - feuille drapeau (LEFD)
en fonction de la date de semis



SORGHO

$$D = \frac{1}{(a-b)PP}$$

D

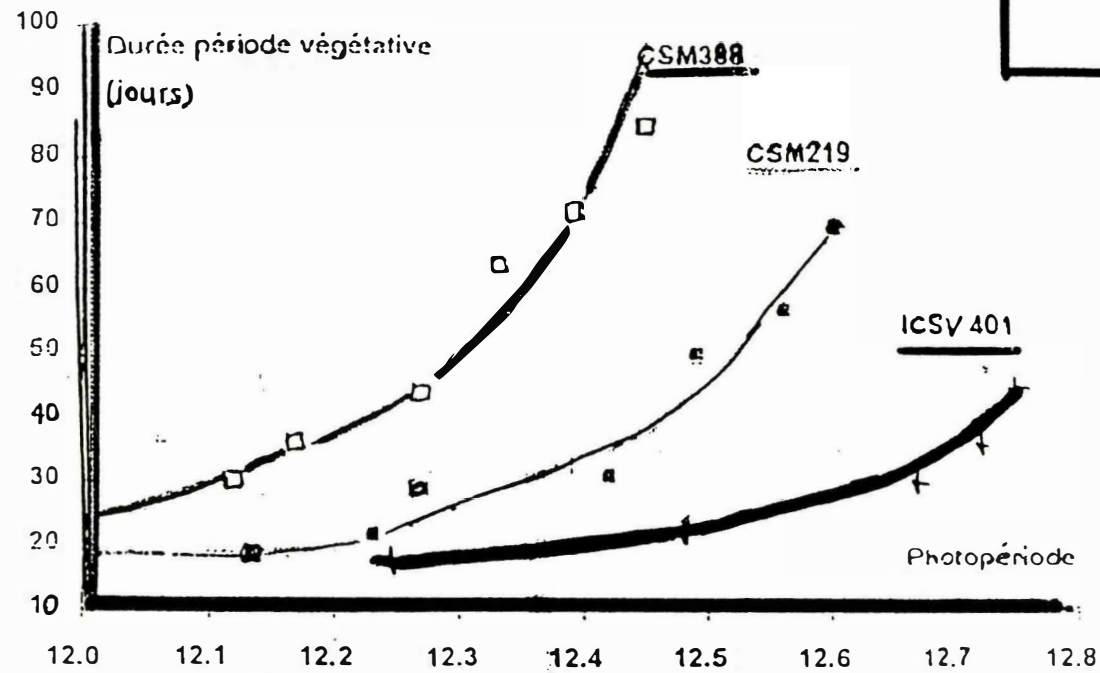
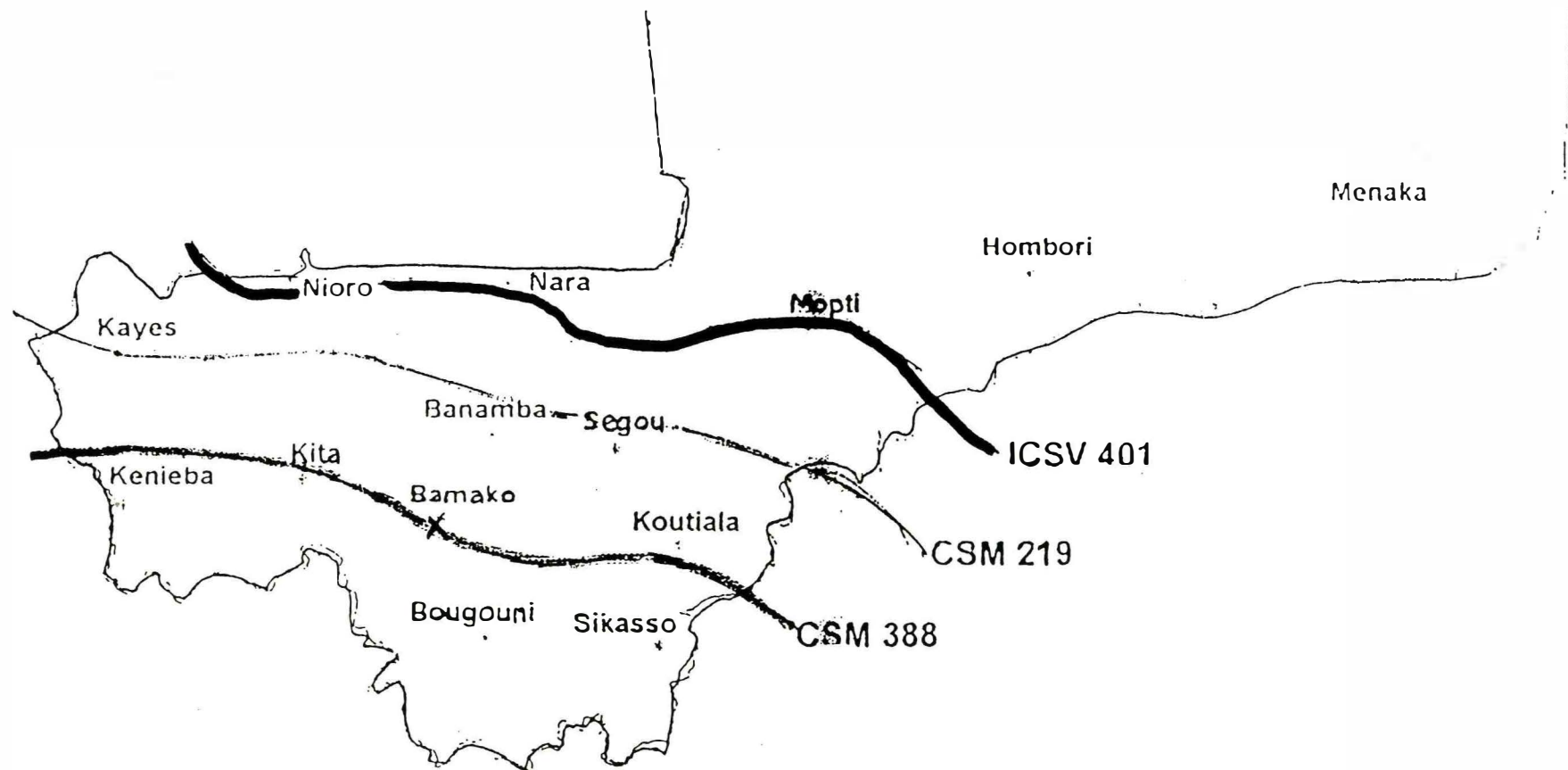


Figure n° 5 - Influence de la photopériode sur la durée en jours de la période végétative

SORGHO

Figure n° 4 - Zones d'adaptation des trois variétés de sorgho au Mali. Correspondance du début de la maturation et de la fin de la saison des pluies.



SORGHO

Figure n° 2 - Courbes de probabilités cumulées de l'écart à la floraison sur le site de Koutiala.

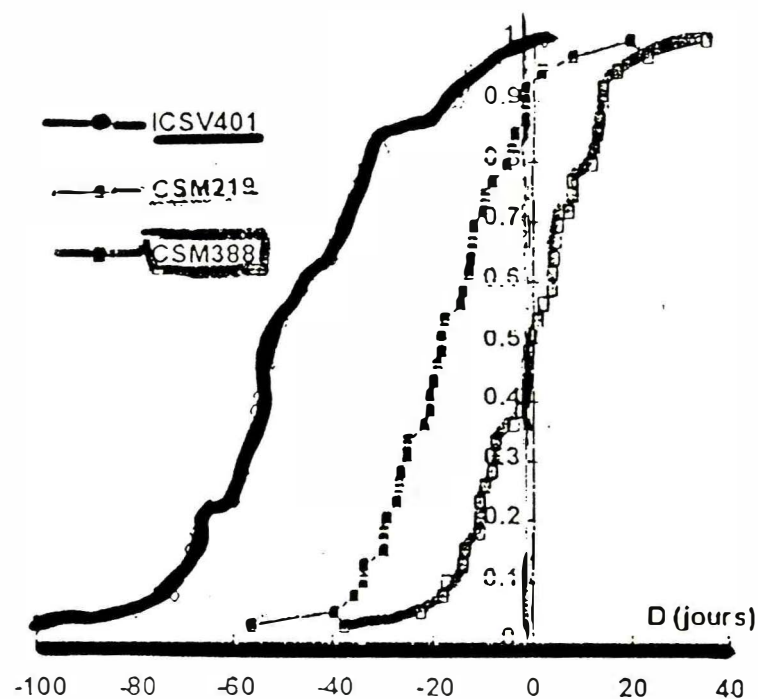
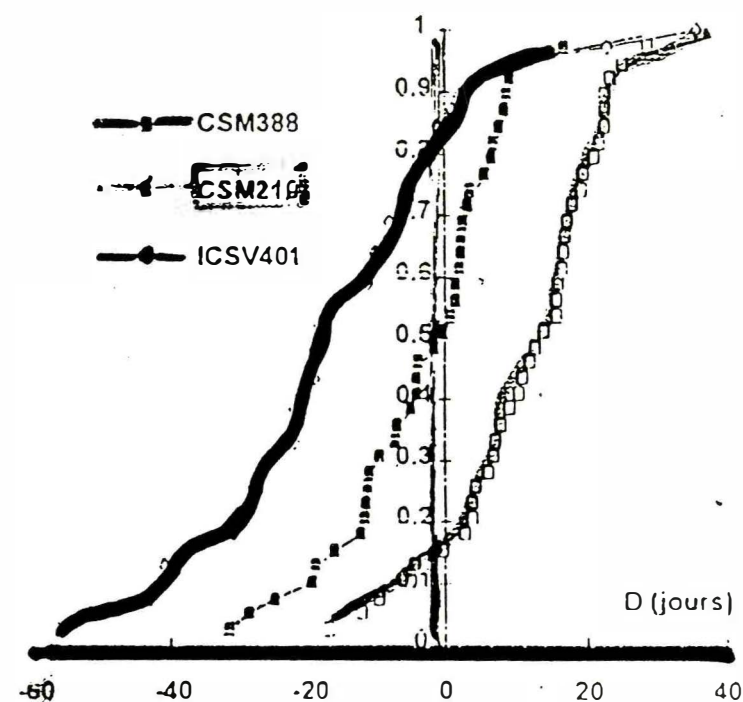


Figure n° 3 - Courbes de probabilités cumulées de l'écart à la floraison sur le site de Kayes.





SESSION 2

SEMIS DIRECT AVEC PAILLIS DE RESIDUS ET ALIMENTATION HYDRIQUE DU MAÏS PLUVIAL DE LA REGION DE V. CARRANZA, MEXIQUE

Resumé de la présentation à la réunion AGER du 15/06/93

E. SCOPEL

I- CONSIDERATIONS METHODOLOGIQUES

Thème de recherche: Etude, en comparaison avec d'autres techniques de préparation du sol, des effets de SD sur l'alimentation hydrique du maïs pluvial dans la région de V. Carranza. Dans cette zone, le maïs pluvial est largement dominant (80% des surfaces agricoles) et la pluviométrie est très irrégulière, dans le temps comme dans l'espace (de moins de 500 mm/an à plus de 800 mm/an).

Contraintes liées à la thématique:

Les effets de ces techniques culturales sur l'alimentation hydrique d'une culture dans une région donnée doivent être abordés à deux niveaux:

- L'utilisation d'une technique de préparation de sol a des conséquences directes sur la répartition des flux hydriques à la parcelle et sur la valorisation de la ressource pluviométrique. Ces conséquences, assez bien connues maintenant dans ce domaine du travail du sol, peuvent être représentées par une chaîne relationnelle entre les divers paramètres régissant l'alimentation hydrique du couvert (Figure No 1). Pour éviter toute confusion, on se doit de prendre en compte l'ensemble de ces paramètres, et d'estimer l'intensité des phénomènes mis en cause. Mais cela implique des mesures assez fines et l'emploi de techniques délicates. Un minimum de contrôle est alors obligatoire pour réaliser et interpréter de telles études.

- En milieu réel, l'expression de ce facteur hydrique peut être modulée par l'action d'autres facteurs ou conditions de production, soit directement sur l'eau disponible pour le couvert, soit sur le fonctionnement du couvert provoquant par le biais du LAI une diminution de la demande en eau (Figure No 2). Ces autres facteurs et conditions qui résultent des caractéristiques locales (milieu et interventions techniques des paysans) et présentent donc une certaine variabilité, doivent absolument être considérés pour faire la part de ce qui est réellement imputable au facteur hydrique dans la différenciation des rendements régionaux.

Un diagnostic intégrant ces deux niveaux est indispensable pour pouvoir estimer les potentialités réelles de SD dans cette région.

Dispositif retenu:

La dualité des contraintes spécifiques aux deux niveaux présentés ci-dessus nous a obligé à séparer notre dispositif en deux parties complémentaires:

- Une étude de SD en milieu réel de production, par enquête sur un réseau de parcelles paysannes où ces techniques de préparation du sol ont été mises en place. L'échantillon choisi essayait de couvrir la variabilité des conditions pluviométriques mais aussi la variabilité des autres conditions de production régionale. Le facteur hydrique est appréhendé dans cette enquête par simulation du bilan hydrique grâce au modèle BIPODE.

- Sur un réseau d'essais avec des conditions expérimentales plus contrôlées et par ailleurs non limitantes, une étude spécifique du facteur hydrique visant:

- * à mieux quantifier, par la mesure directe de certains indicateurs, les modifications des paramètres de l'alimentation hydrique du maïs pluvial résultant de l'utilisation de diverses techniques de préparation du sol (colonisation racinaire, stockage de l'eau de pluie, consommation durant les périodes sèches...), en fonction des caractéristiques pédo-climatiques régionales,

- * à fournir les éléments nécessaires au paramétrage du modèle de simulation du bilan hydrique utilisé dans l'enquête pour caractériser l'alimentation hydrique dans chaque situation,

- * à fournir des références sur le comportement du couvert dans des conditions contrastées d'alimentation hydrique.

II- QUELQUES RESULTATS

Techniques de préparation du sol et conséquences potentielles sur l'alimentation hydrique et la production (étude en milieu contrôlé):

En conditions pluviales, c'est durant les périodes sèches que le facteur hydrique peut provoquer une différenciation importante des rendements. Dans les conditions de ce dispositif (LAI non limitant et ETP peu variable durant les principaux mois de culture, donc besoins comparables) la consommation en eau du couvert est la meilleure sanction de son bon fonctionnement durant ces périodes sèches. Cette consommation peut-être estimée par $(dS + P)/n$, avec dS = variation de stocks sur la période sèche mesurée par la méthode neutronique, P = pluviométrie sur la période sèche s'il y en a, n = nombre de jours de la période sèche. Un tel paramètre autorise des comparaisons entre différentes périodes sèches et entre différents sites.

Pour toutes les périodes sèches étudiées, quelle que soit l'année, quel que soit le type de sol, cette consommation est essentiellement régie par le niveau de stock en eau disponible en début de période sèche (Figure No 3). Une telle constatation tend à démontrer le caractère primordial du stockage de l'eau de pluie dans le sol avant que n'apparaisse une saison sèche.

Les différents types de préparation du sol ont eu des actions différenciées sur la mise en place de ces stocks et leur utilisation par le couvert. L'évolution dans le temps des différences de stocks entre SD et les autres préparations du sol (Figure No 4) met en évidence:

- Une augmentation de cette différence lors de périodes fortement pluvieuses qui traduit une meilleure aptitude au stockage de l'eau avec SD (effet du paillis),
- Une diminution de cette différence lors de périodes sèches qui traduit une meilleure valorisation du facteur hydrique avec SD (plus forte consommation).

Cette dynamique des stocks hydriques est encore significative de la prépondérance des effets directs sur le stockage de la pluie dans le profil écrasant quelque peu tout effet par le biais de l'intensité de colonisation racinaire.

On a pu vérifier par ailleurs qu'on avait effectivement un effet significatif du travail du sol sur la colonisation racinaire, mais toujours faible en valeur absolue et essentiellement limité à la couche de profil remaniée (Figure No 5).

Les conséquences finales sur la production peuvent alors être spectaculaires. Sur les sites ayant bénéficié de conditions pluviométriques défavorables, les rendements obtenus sont systématiquement en faveur de SD avec un avantage parfois très important (Figure No 6).

Techniques de préparation du sol et conséquences réelles sur la production (étude en milieu réel):

En conditions réelles de production, l'effet du facteur hydrique (lié au type de préparation du sol) sur la production doit être analysé au regard du niveau des autres facteurs ou conditions de culture pouvant moduler son expression.

On peut illustrer ce propos par l'étude de la relation entre le taux de satisfaction des besoins hydriques (ETR/ETRM) durant la période critique de floraison calculé par simulation et le nombre de grains produits (Figure No: 7). On constate alors:

- Que les points correspondant à des situations d'essais (différenciées essentiellement par le biais du facteur hydrique) illustrent une assez bonne liaison entre ces deux paramètres, et se situent tous dans la partie supérieure du nuage de points.

- Que les points qui s'éloignent le plus de cette référence supérieure correspondent tous à des situations ayant connu des conditions très difficiles de croissance pré-floraison (fort taux d'envahissement par les adventices ou ayant présenté de fortes carences minérales depuis le tout début du cycle).

- Que si on élimine ces situations extrêmes on retrouve une certaine liaison entre ces deux paramètres qui met en évidence l'effet indéniable du facteur hydrique sur la production de grains (corrélation sur les points restants).

- Que cette liaison reste encore entachée d'une assez grande variabilité probablement à mettre en relation avec l'expression d'autres facteurs ou conditions sur l'efficience à floraison et la production finale de grains.

III- CONCLUSIONS IMPORTANTES

Sur les résultats, cette étude nous a montré tous les avantages potentiels que peut présenter SD pour améliorer la valorisation de la ressource pluviométrique dans la zone de V. Carranza, et tous les ecueils pouvant empêcher la répercution de ces avantages sur la production finale (mauvaises herbes, trop fortes déficiences minérales, très faibles densités). La pleine valorisation de cette alternative n'est possible que si elle s'accompagne d'une gestion cohérente de l'ensemble de ces facteurs ou conditions de production.

D'un point de vue méthodologique, cette étude apporte quelques enseignements:

- La nécessité, dans une étude régionale de ce type, de considérer les deux niveaux d'approche des effets d'une technique culturale sur l'alimentation hydrique et la production d'une culture (effets directs sur la chaîne de paramètres liés à l'alimentation hydrique, effets modulés par l'action d'autres facteurs et conditions de cultures en milieu réel).
- La complémentarité des outils essais et enquête pour appréhender correctement ces deux niveaux.
- L'utilité d'un modèle de simulation du bilan hydrique pour estimer des taux de satisfaction des besoins en eau dans des situations en milieu réel.
- La nécessité, lorsque l'on s'intéresse aux effets d'une technique dans une région, de raisonner à l'échelle des ITKs et des systèmes de culture, d'intégrer et valoriser leur variabilité régionale.

Figure No 1 : Conséquences directes sur l'alimentation hydrique

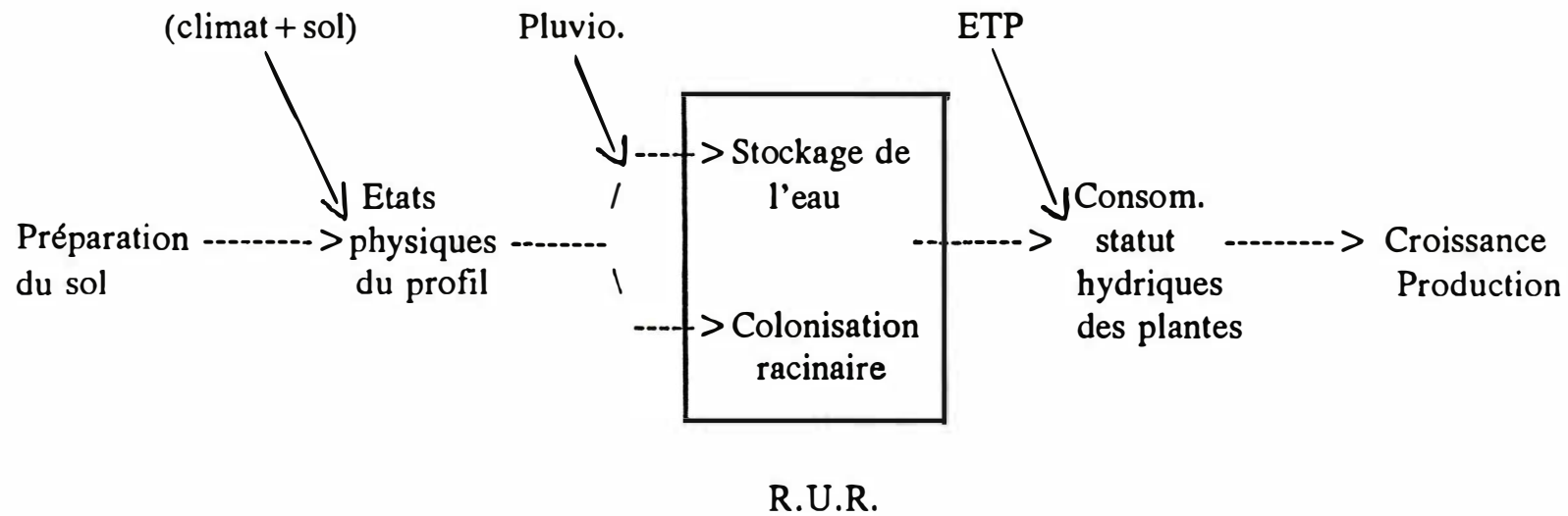


Figure No 2 : Conséquences indirectes, expression sur la production

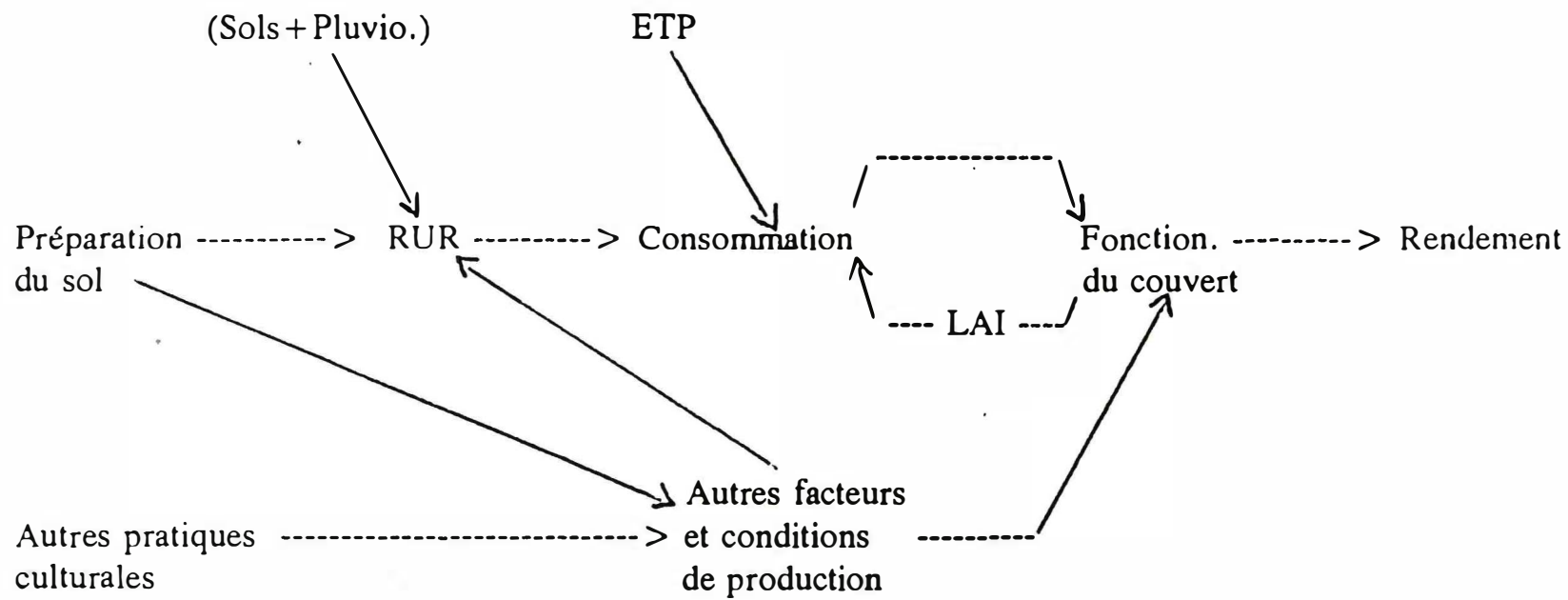
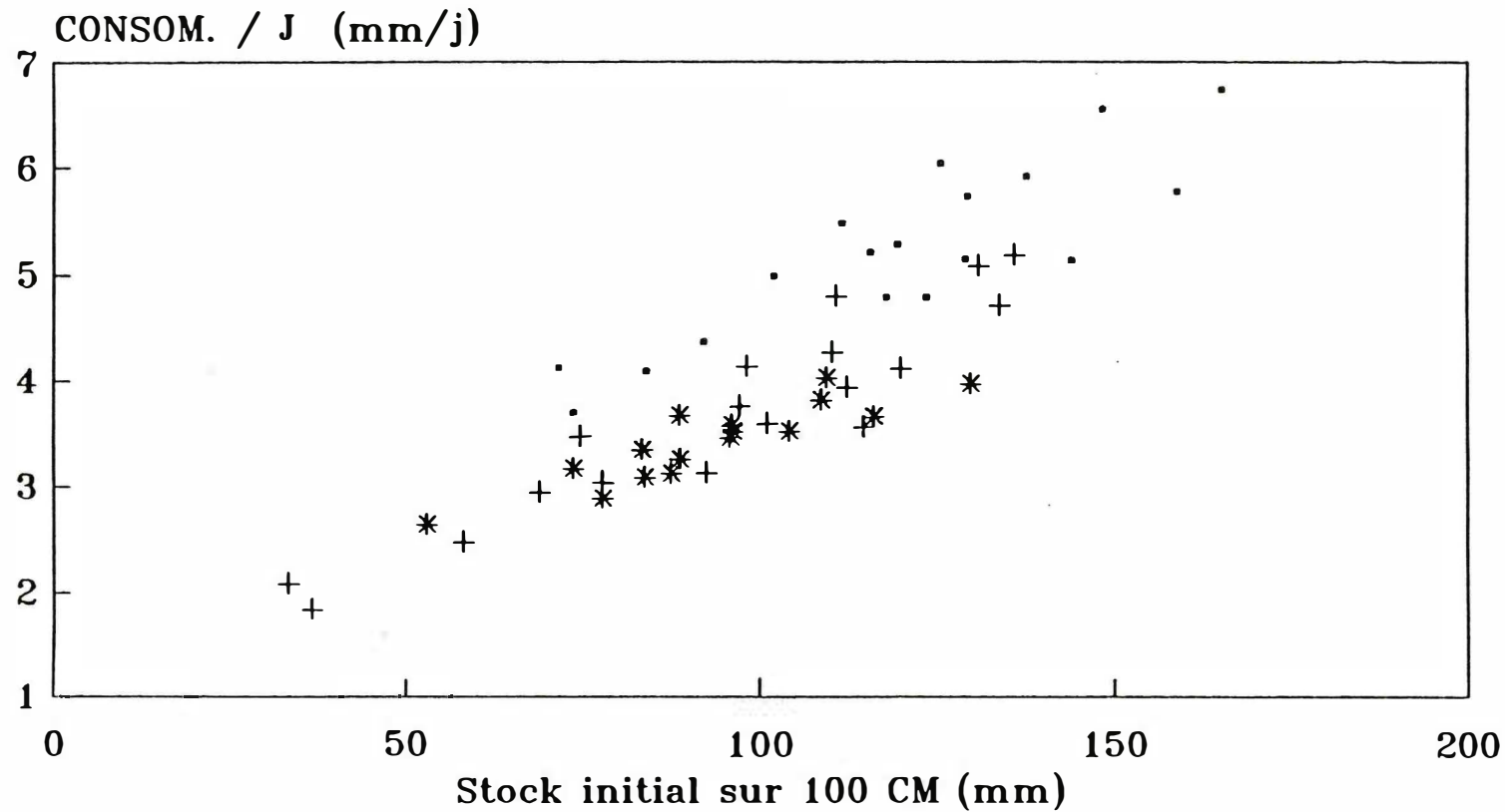


Figure No 3 :
 Consommation en periode seche suivant le
 stock initial disponible (par tube)



• Pre-flo. SN 91 + Pre-flo. SB 91 * Flo. SB 90

Figure No 4 :
Evolution des dif. de stocks disponibles
entre traitements, I. Venancio, 1991

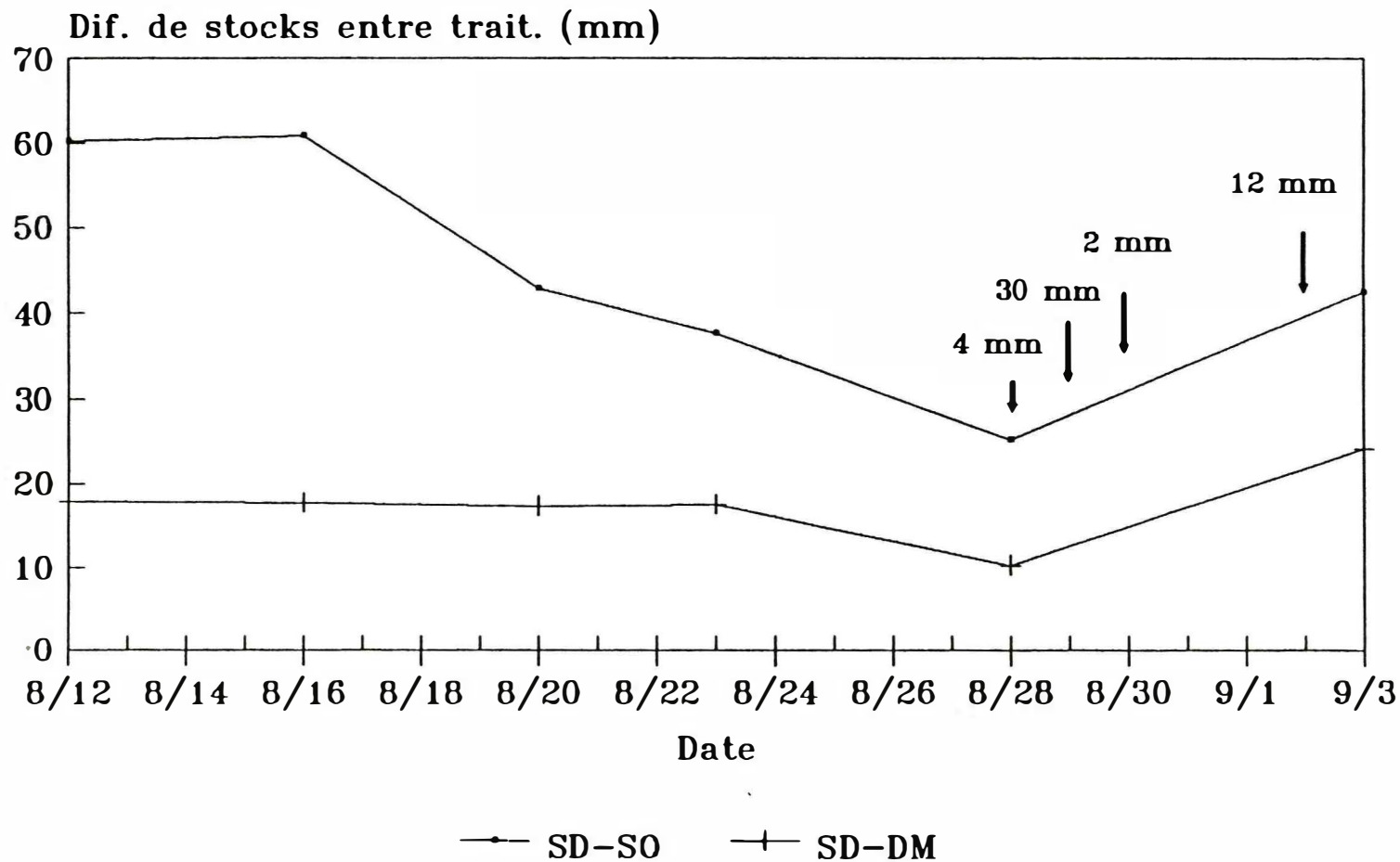
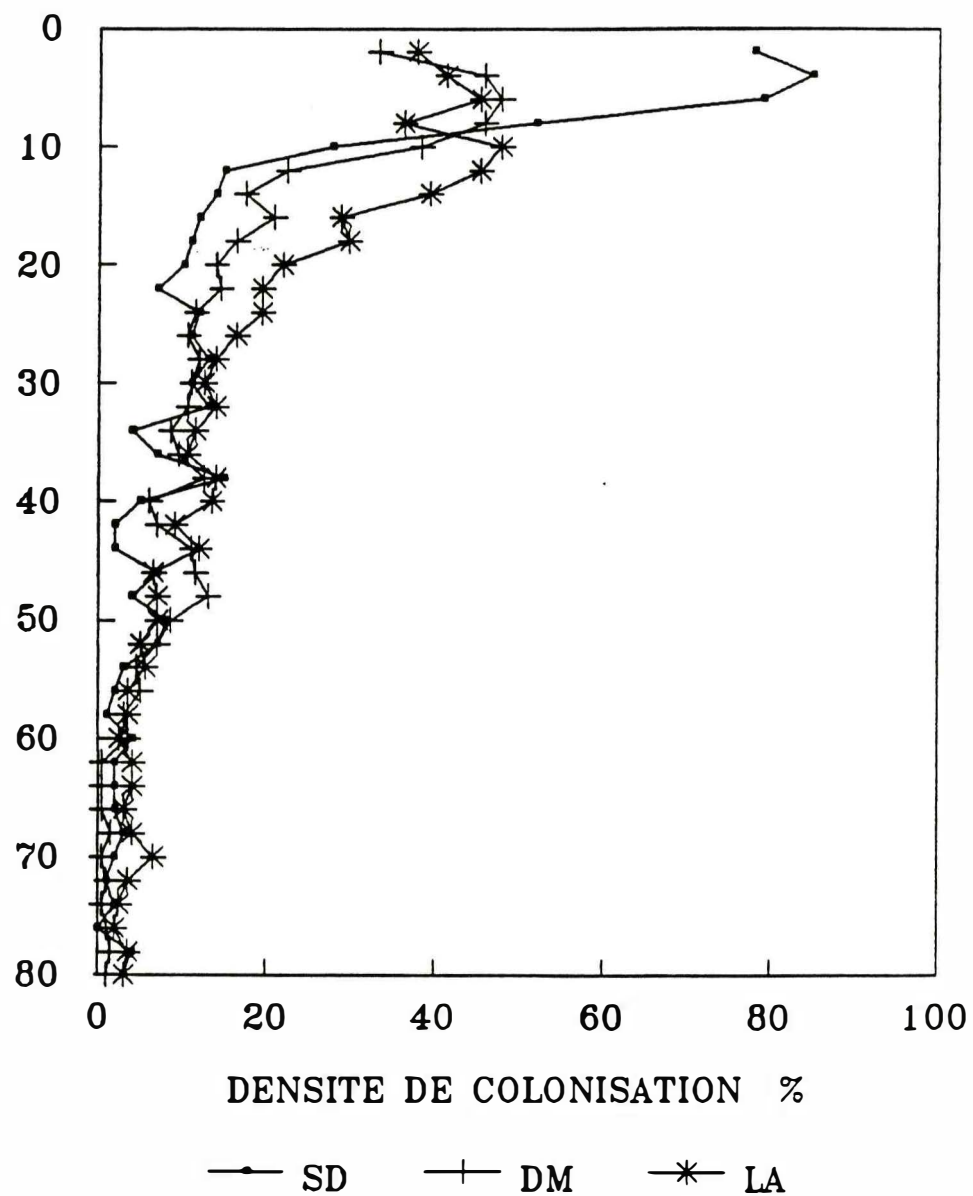
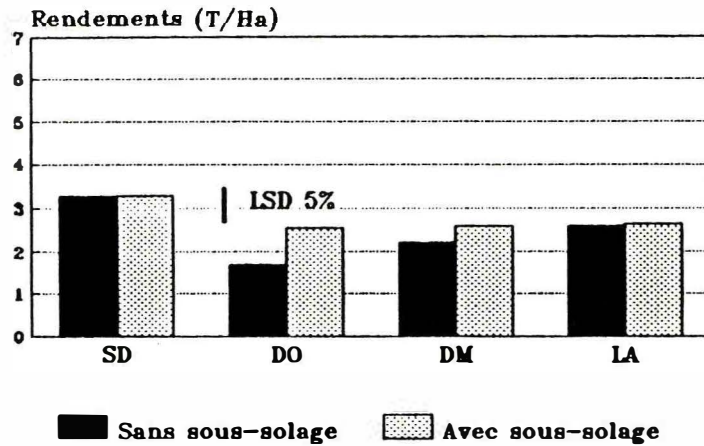


Figure No 5 :
Colonisation racinaire I.V. 91,
traitements sans sous-solage

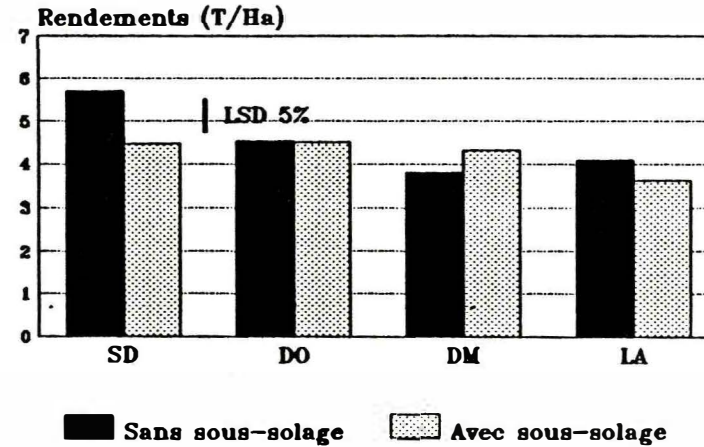
PROF. EN CM



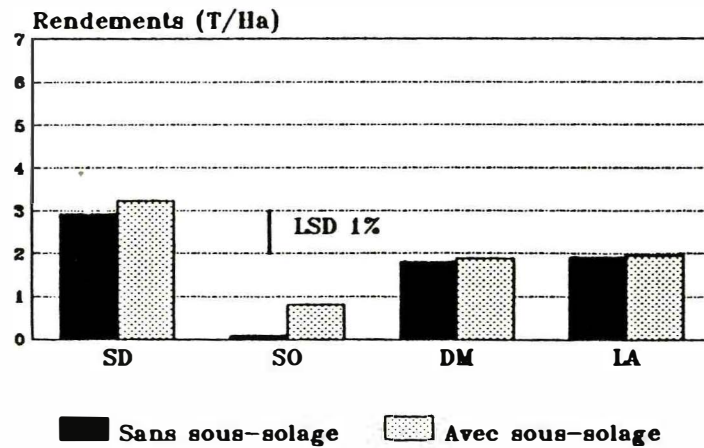
RENDEMENTS I.V. 90
Sols Bruns - Zone Seche



RENDEMENTS A.F. 90
Sols Noirs - Zone Seche



RENDEMENTS I.V. 91
Sols Bruns - Zone Seche



RENDEMENTS C.E. 91
Sols Noirs - Zone Seche

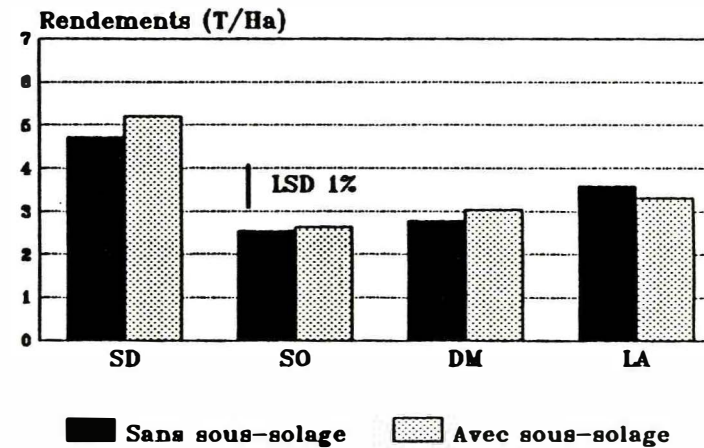
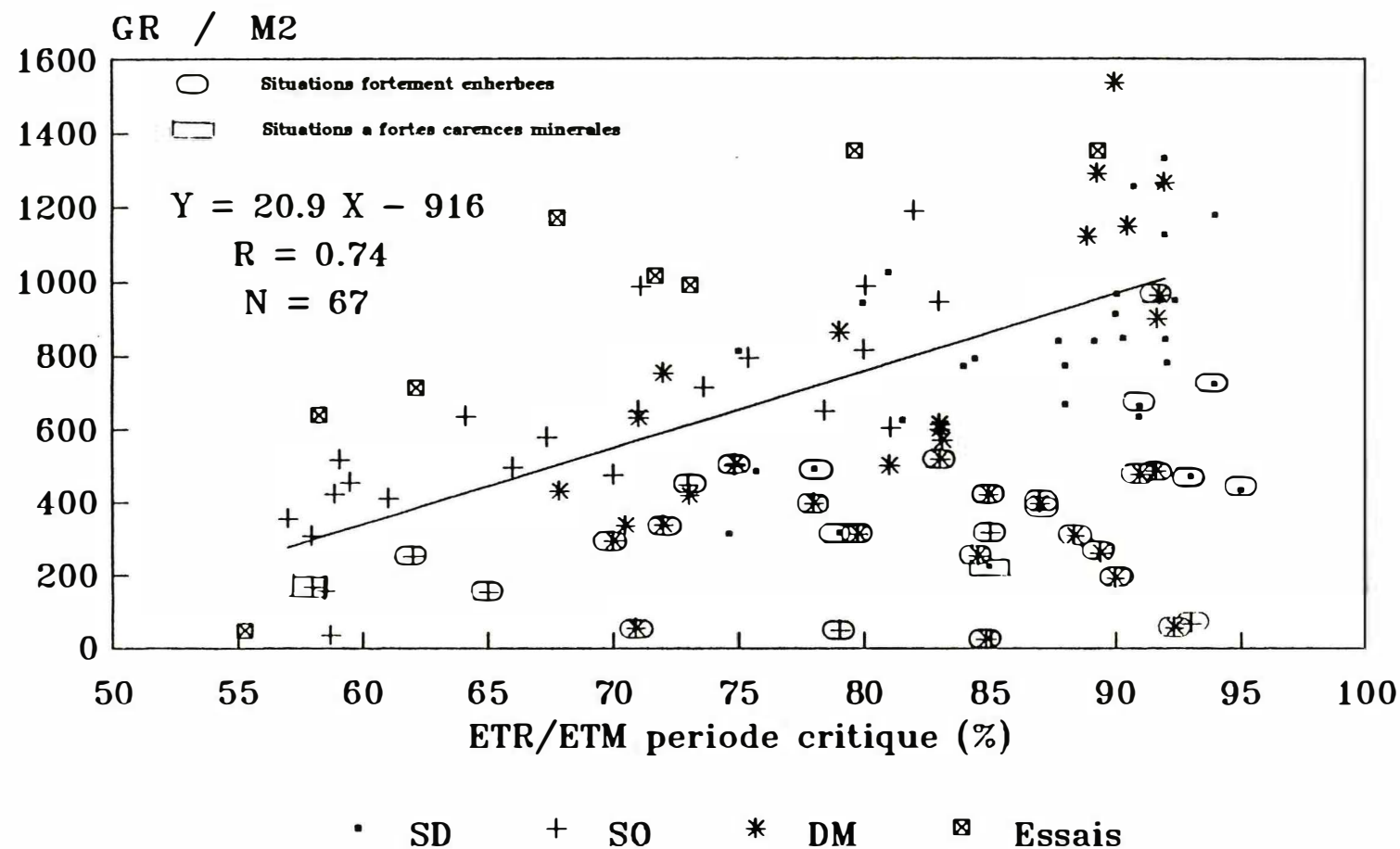


Figure No 7 :
Effet hydrique a la periode critique sur
le nombre de grains formes, suivi 90-91





SESSION 2

AMENAGEMENTS DE VERSANTS SENEGAL - SINE SALOUM

P. PEREZ

COMMENTAIRES TRANSPARENTS

Transparent 1 :

Le thème aménagement de versant sera illustré par les actions menées au Sénégal dans le cadre d'un programme conjoint CIRAD-ISRA-ORSTOM depuis 1983.

La justification et les dispositifs d'étude seront évoqués dans un diaporama qui sera projeté cette après-midi. Concernant le 1er objectif, on a dans un premier temps confirmé le schéma de dégradation de l'écosystème qui est généralisable à de nombreuses régions de la zone soudano-sahélienne...

Transparent 2 :

En effet, en s'appuyant sur de nombreux travaux réalisés au Sénégal par Charreau et Nicou (1971), Benoit Cattin et J. Faye (1986), Angé (1989) pour ne citer que ceux-là ; On peut discerner trois facteurs principaux, qui par un jeu d'interactions vont entraîner une dégradation généralisée de l'écosystème.

Le mérite de ce schéma est de faire ressortir le lien indissociable entre fertilités physique et chimique du sol, entre l'offre hydrique et l'offre minérale. Tant du point de vue de la dégradation que des solutions à promouvoir.

Pour fixer les idées, à l'échelle d'un BV d'une dizaine de km² le coefficient de ruissellement moyen s'élève à 2,6 %. Les pertes en terre avoisinent 1 à 2 t/ha/an. Le coefficient de ruissellement de la crue décennale est estimé à 22 %.

Transparent 3 :

Ces chiffres cachent en fait une forte diversité de situations à une échelle inférieure qui intéresse le travail des agronomes. Nous pouvons observer sur ce document une toposéquence représentative à la fois de la zone d'étude et de nombreuses régions en zone soudano-sahélienne.

Un certain nombre d'expérimentations sous pluie naturelle ou simulée, à l'échelle du m² nous ont permis de mettre en évidence :

- l'aptitude au ruissellement décroît du haut vers le bas de la toposéquence. Ainsi pour des

pluies décennales Kr : 23 à 57 %, sol bas glacis.
 Kr : 57 à 85 % sol haut glacis.

- Localement cette hiérarchisation est nuancée par l'anthropisation des surfaces (type de culture, itinéraire technique, taux d'enherbement). Ainsi sur sol de bas glacis :

Kr : 23 à 57 % précédent arachide,
Kr : 10 à 36 % précédent Mil enherbé.

- Le rôle fondamental des états de surface dans les phénomènes d'infiltration sur sol cultivé et la liaison étroite entre la répartition spatiale des organisations superficielles, l'aptitude au ruissellement et la gestion agricole de l'eau. Ce thème ayant été développé au sein de l'ATP-PIREN (87-89), en liaison avec IMG.

Transparent 4 :

Reprenant les travaux menés par l'ORSTOM, il nous a semblé intéressant de modéliser la relation liant la hauteur de pluie au ruissellement durant le cycle cultural :

Pour ce faire, nous avons débuté une série d'expérimentations sous simulation de pluie, utilisant un protocole standardisé et nous permettant d'obtenir une bonne représentation statistique des couples "Evènement climatique/Evènement agronomique".

A ce jour, nous avons testé deux types de sol sous couvert d'arachide aux phases suivantes: 7j, 30 j, 30j sarclé, 60j. A terme, nous devrions pouvoir :

- améliorer la précision des modèles de simulation existant (type BIPODE),
- approcher une formulation satisfaisante de la fonction de production d'un BV anthropisé.

Transparent 1 :

Cette phase de diagnostic est accompagnée de tests en milieu paysan, à différentes échelles, visant à proposer une série de mesures de gestion des ressources qui permettent une certaine stabilisation du paysage...

Transparent 5 : Dont voici 2 exemples :

* Un BV de 60 ha sur lequel on s'efforce de créer un maillage isohypse constitué de haies vives, cordons de pierres, ouvrages ponctuels et correction de ravines.
L'objectif est de ralentir le ruissellement et diminuer les parties en terre.

A l'intérieur de ce maillage, des techniques culturales conservatoires sont proposées aux producteurs. On peut citer : le semis isohypse, le travail du sol en sec, les pseudo-buttages de prélevée... accompagnés si possible d'apport de M.O.

L'objectif est d'améliorer l'infiltration en début d'hivernage et de valoriser ce gain par un surplus de fertilité, même modeste.

* Ces thèmes sont repris sur des BV plus petits (2,4 ha) caractéristiques d'une unité morphopédologique. Ici le bas glacis. On retrouve les 2 objectifs : ralentir le ruissellement et améliorer l'infiltration.

Transparent 1 :

A ces tests sont associées des études d'impact bien entendu en terme de gestion de l'eau mais également en terme :

- d'écologie végétale (adaptation des espèces arbustives, disponible en biomasse),
- d'entomologie (influence de la haie sur les prédateurs).
- de sociologie (organisation des chantiers, perception des contraintes).

En fait, ces thèmes sont une réponse directe, au cas par cas, aux sollicitations des producteurs.

Transparent 6 :

Pour illustrer cette démarche, j'utiliserai 2 exemples. Le premier concernant une opération culturale (le travail du sol en sec) et le second un aménagement intégré sur petit bassin versant.

Afin d'étudier l'impact réel du travail sur l'infiltration des expérimentations sous simulation de pluie, couplées à des essais agronomiques, ont permis de dégager :

- Le gain d'infiltration apporté : on passe de 30 % de ruissellement à moins de 10 % sur l'ensemble du protocole.
- La rugosité créée en surface s'estompe rapidement puisqu'en fin d'expérimentation les états de surface étaient identiques.
- Enfin, l'ordre de grandeur de la conductivité de la croûte de battance formée est de 100 fois inférieure à la conductivité intrinsèque du sol en place.

Cependant :

- * les efforts de tractions mesurés nécessaires à ce type de travail,
- * ainsi que les écartements compatibles avec les attelages paysans tempèrent fortement l'adhésion des producteurs. La valorisation consentie doit passer par une association avec l'apport de M.O.. Il y a là convergence entre intérêt technique et social.

Transparent 7 :

Le second exemple porte sur le bassin versant de 2,5 ha situé sur la terrasse et aménagé depuis 1988. A l'échelle du m², les différents sites de mesure attestent de la variabilité spatiale et interannuelle du ruissellement puisque les coefficients de ruissellement varient de 9 à 42 % sur l'ensemble de l'hivernage. Conformément aux études présentées précédemment, les facteurs de variations dépendent à la fois du climat et du système de culture adapté.

Transparent 8 :

Si on passe à l'échelle de bassin versant, pour la même période, les coefficients de ruissellement varient de 0,5 à 5 %. Le BV répond aux forts événements pluviaux soulignant les limites de l'aménagement mis en place. Il est cependant intéressant de comprendre où se situent les puits hydriques, vraisemblablement liés aux aménagements.

Transparent 9 :

Pour ce faire, une étude géostatistique des stocks hydriques, des résultats agronomiques et des principales caractéristiques pédologiques est réalisée périodiquement en fin de campagne. On observe, pour l'année 91 par exemple, une zone d'accumulation hydrique dans la partie aval du bassin versant. Cette zone correspond de plus à une bonne zone de production agricole, alors qu'elle était en voie d'abandon en 1987. Si le rôle des obstacles filtrants semble évident, celui de la haie vive reste douteux au vu de ces résultats.

Transparent 10 : * Concernant les obstacles filtrants situés dans les ravines, une comparaison des bilans hydriques sur trois sites de mesures tensio-neutroniques permet le constat suivant :

Pour les deux années présentées, le site S47, en amont d'un ouvrage accumule près de 100 m de plus que les sites S41 ou S43 plus en amont sur le BV. Ce gain est réalisé en grande partie de l'hivernage, période de plus fort ruissellement.

* Concernant la haie vive. Des prélèvements gravimétriques sont effectués sur des transects perpendiculaires à la haie, traduits en stocks d'eau, les résultats permettent de comprendre le fonctionnement de la haie. En 1992, on observe un faible stockage en amont de la haie et un déficit net en aval. Son emprise, en terme de bilan hydrique, n'excède pas trois mètres en amont et trois mètres en aval. Lors d'hivernages plus favorables la fonction de stockage se renforce en amont. En résumé, la haie consomme une bonne partie de l'eau stockée. Son impact est donc difficilement détectable au niveau du maillage géostat.

Transparent 1 :

Enfin, s'agissant du dernier objectif, un effort particulier a été fait pour vulgariser et diffuser auprès des projets de développement les techniques testées dans notre zone d'intervention pour le biais de :

- fiches techniques,
- d'expertises de sites,
- de parcelles d'entraînement,
- un diaporama est en cours de réalisation.

Toutefois, les résultats concrets ne sont guère encourageants, compte tenu de l'aspect global et multi-échelle du problème de la gestion de l'eau sur les versants. D'où la nécessité de formaliser notre démarche scientifique.

Transparent 11 :

Le cas présenté, a été traité l'année dernière. Le village de Sonkorong est directement menacé par le recul du réseau de ravines né à l'exutoire d'un bassin versant de 8 km². Après

délimitation du bassin versant, une cartographie des états de surface permet de définir les unités hydro-agricoles homogènes. Il est alors possible de cibler les zones d'intervention hiérarchisées et de calculer une crue de projet pour les ouvrages prévus à l'aval. Le schéma d'aménagement s'appuie sur le parcellaire existant...

Transparent 12 :

Mais dans tous les cas, il va se heurter au schéma décisionnel des groupes ciblés : producteurs, groupements, village. Logique individuelle contre logique de groupe ; logique économique contre logique écologique. L'adéquation des objectifs entre agronome et agriculteurs, passe par une meilleure formalisation des critères socio-économiques déterminants.

Le CIRAD est sensible à cette démarche et met en place une cellule de réflexion sur ce thème, à laquelle toute l'équipe travaillant au Sine Saloum souhaite s'associer dans un futur proche.



AMENAGEMENTS DE VERSANTS

LOCALISATION: SENEGAL - Sine Saloum

PROGRAMME CIRAD/ISRA/ORSTOM (1983 - 1993)

ETUDE Pluridisciplinaire et Multi-échelles

OBJECTIFS:

- . Analyse de la gestion de l'eau à différentes échelles
- . Proposition de techniques d'intervention adaptées
- . Etude de l'impact des solutions proposées
- . Diffusion tenant compte de la réaction des producteurs

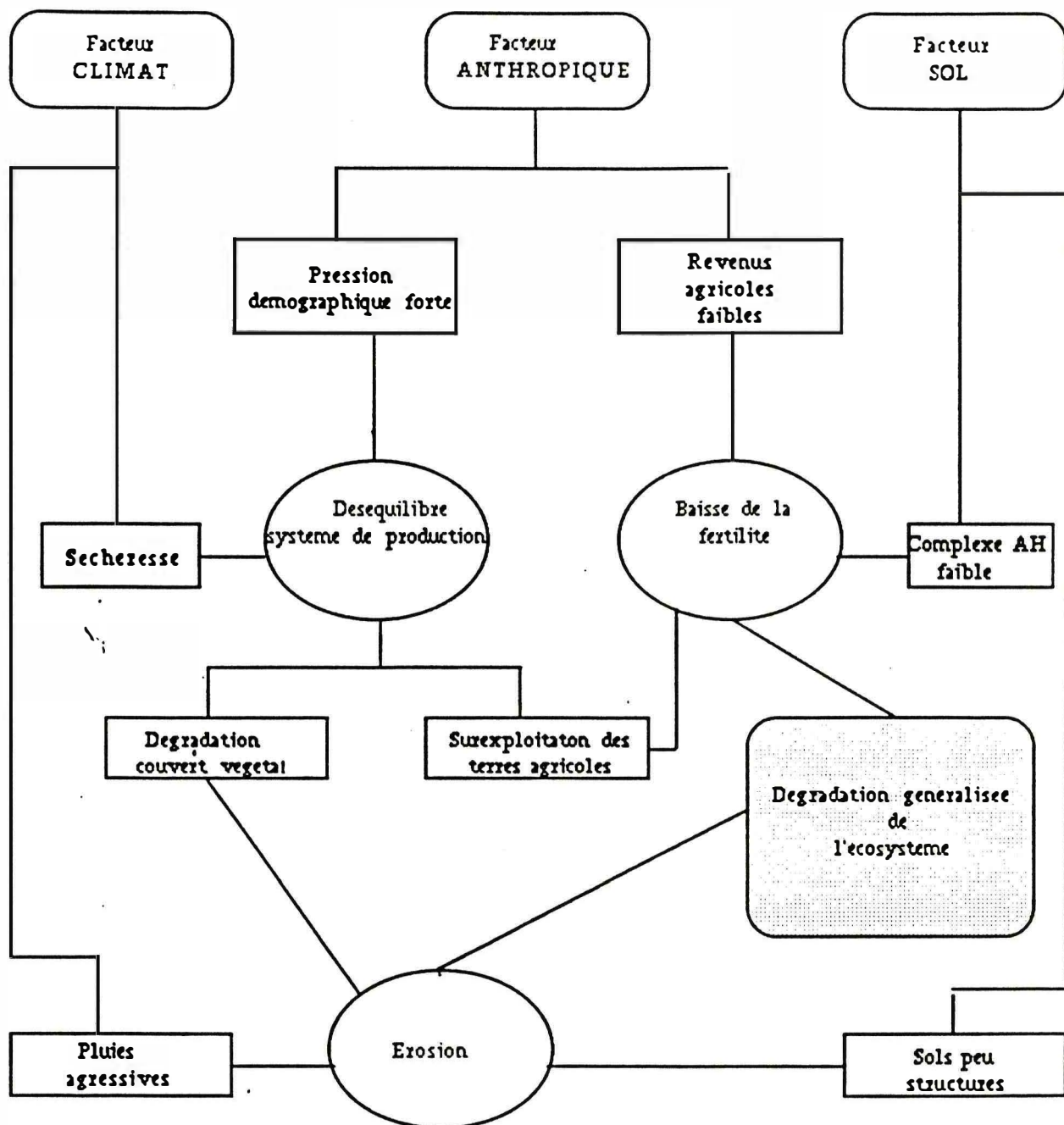
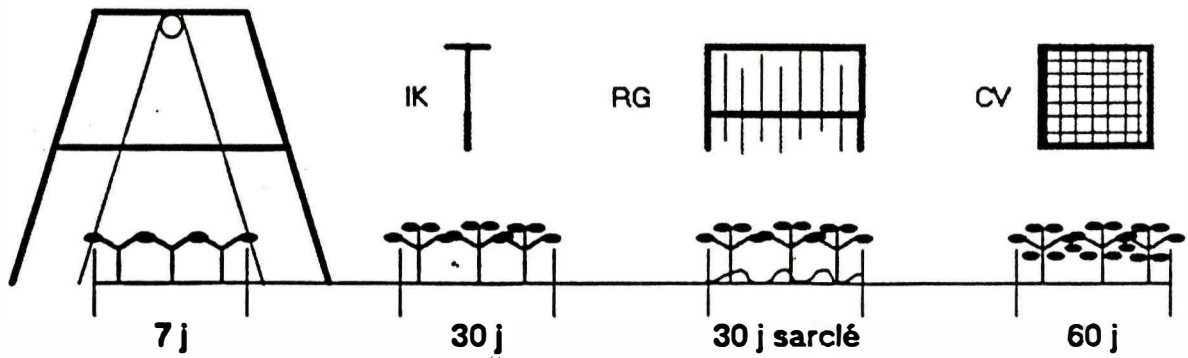


Figure 1: schema général de dégradation de l' cosyst me. Sud Sine Saloum
()

Toposéquence et aménagements

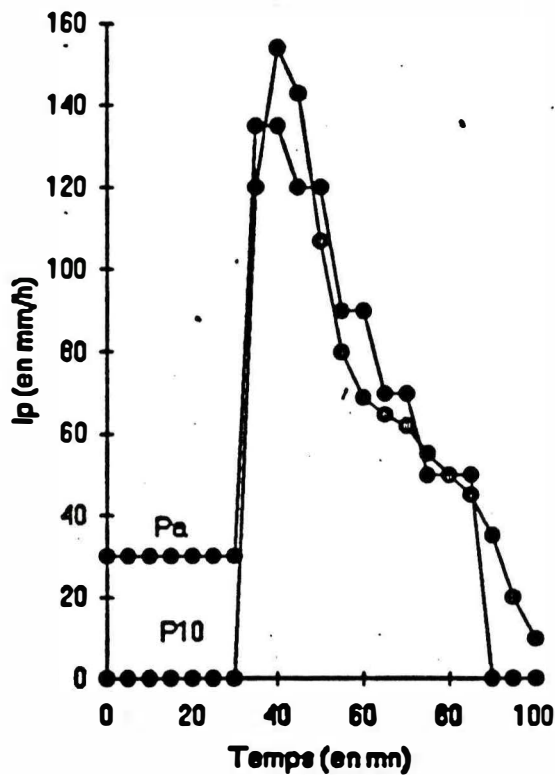


SIMULATION DE PLUIE

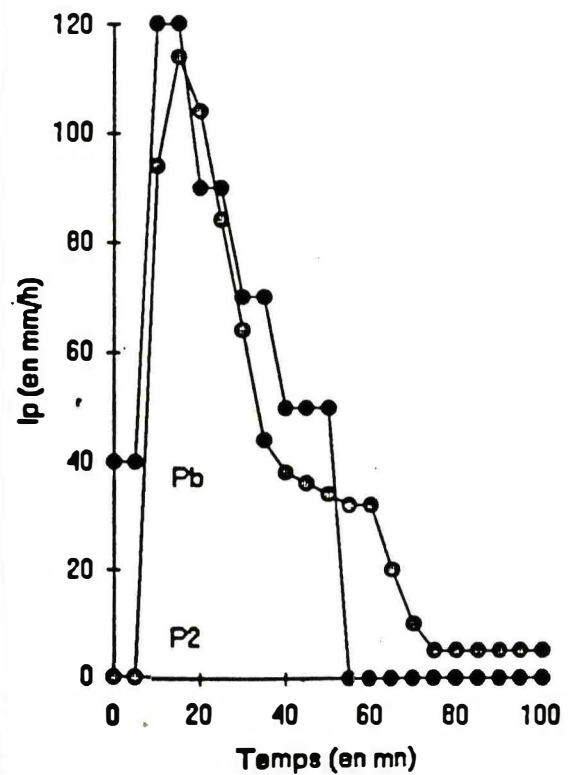


Pluie	P1	P2	P3	P4	P5
Lp (mm)	96.7	61.7	61.7	61.7	96.7
Tr (h)	sec	70	12	48	12

Hyétogrammes comparés de la pluie décennale (P10) et de la pluie simulée de type a (Pa).



Hyétogrammes comparés de la pluie de récurrence 2 ans et de la pluie simulée de type b (Pb).



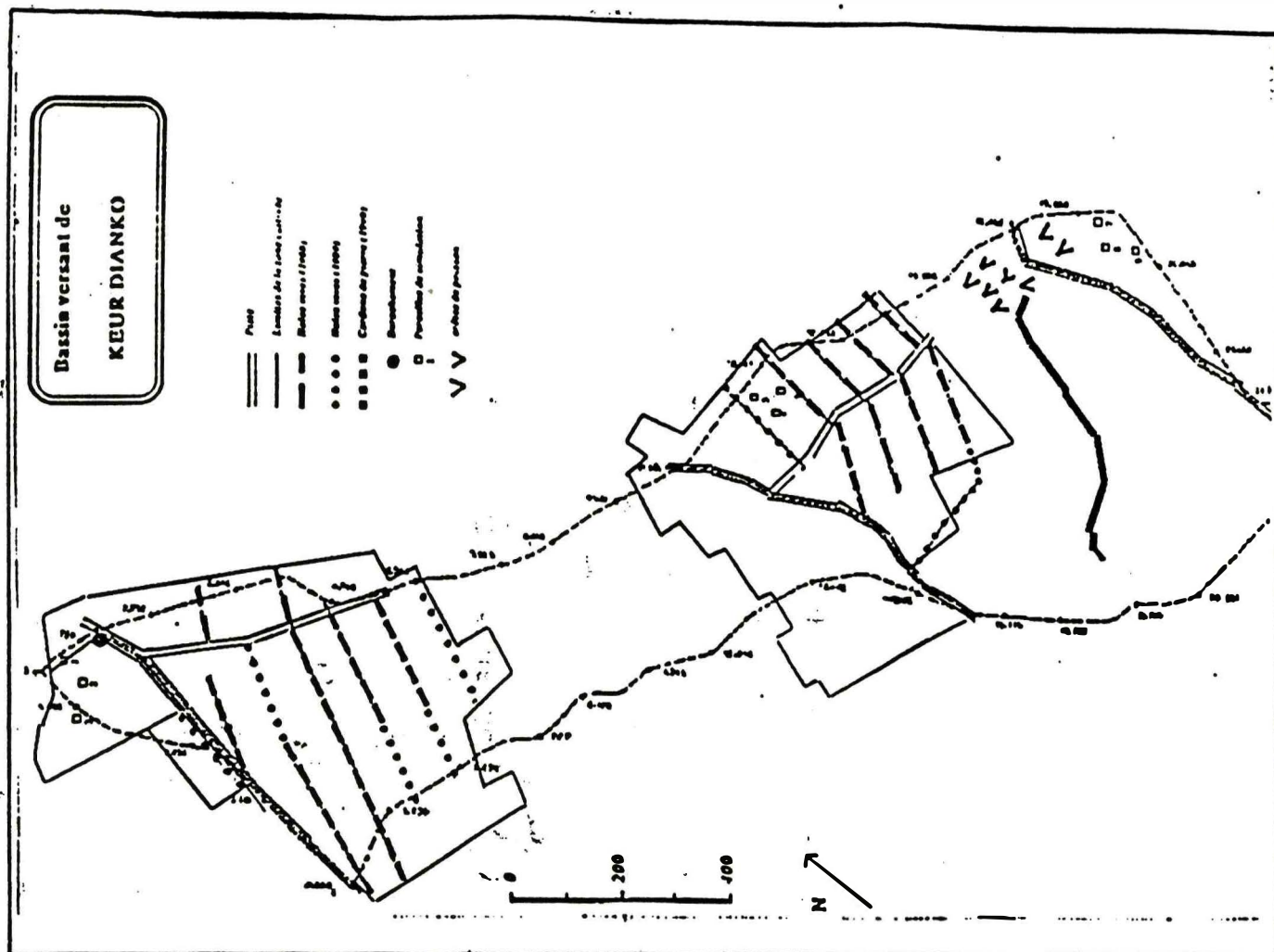


Figure 4: bassin versant S2 (0.6 km²). Aménagements réalisés.

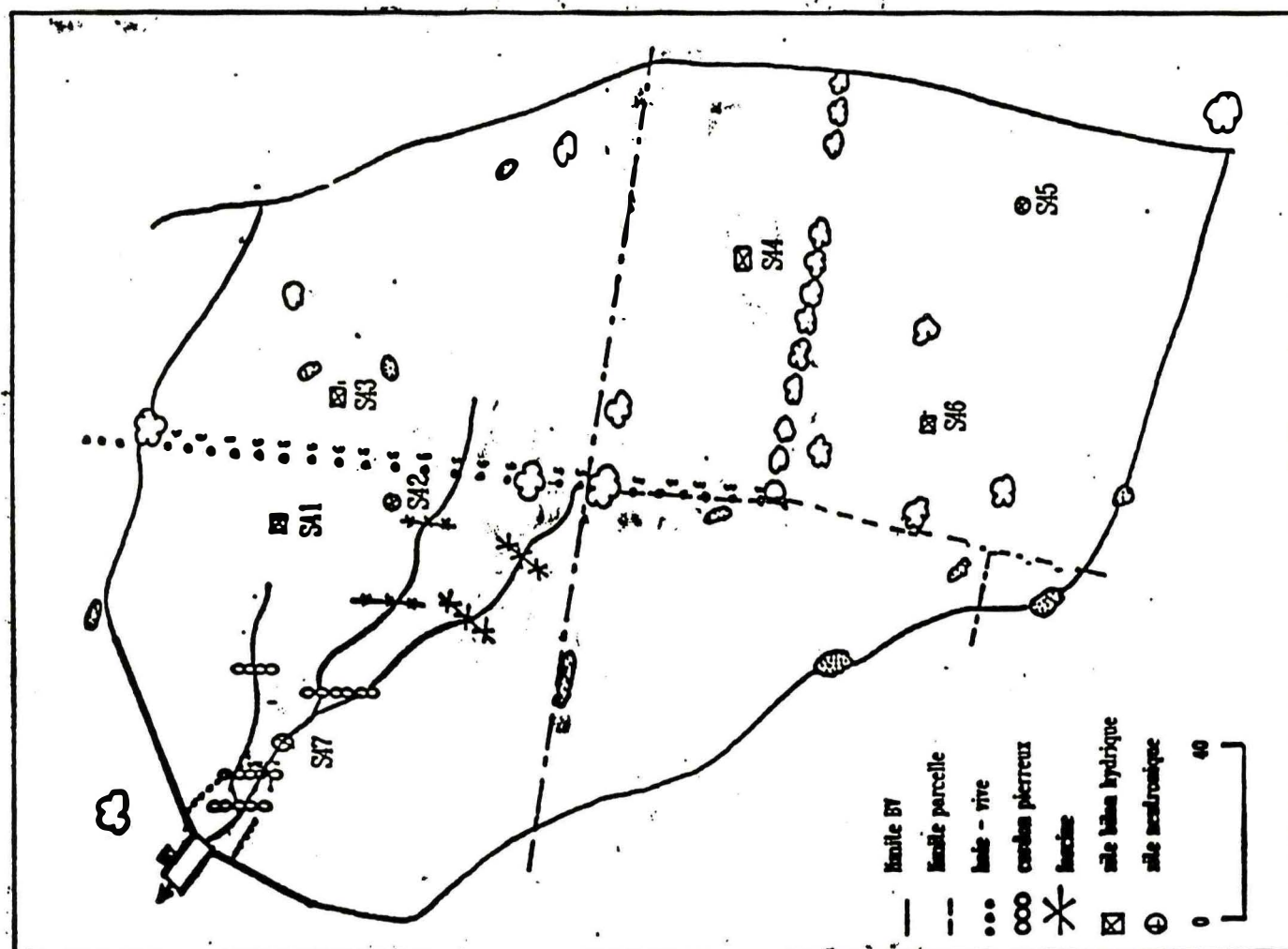


Figure 5: micro bassin versant S4 (2.5 ha). Aménagements et sites de mesure.

Figure 5

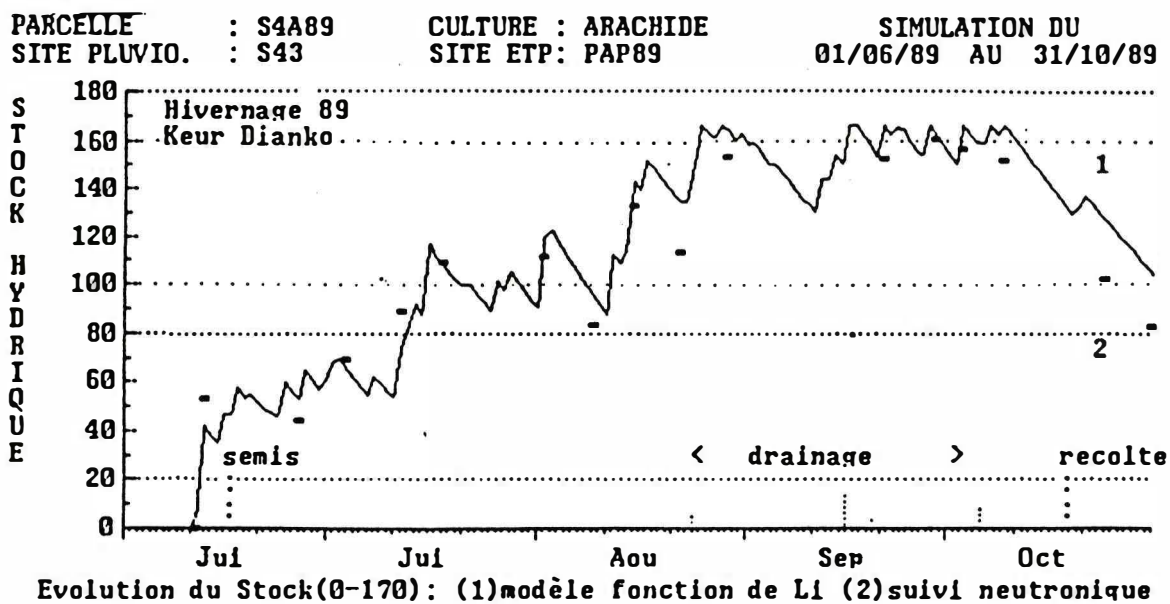


Figure 6

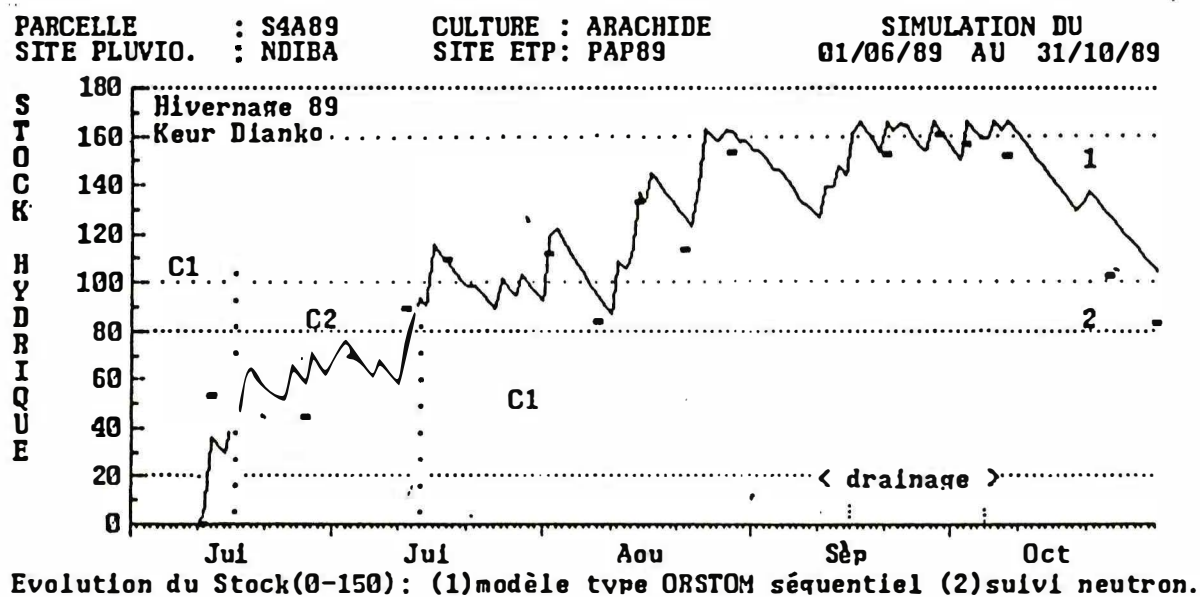
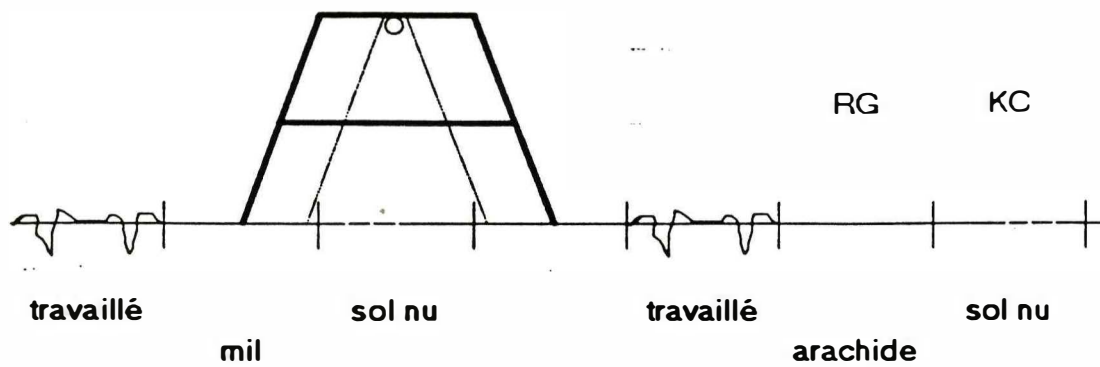


Tableau n°2: simulations du bilan hydrique sur le site S43

Type	Lp mm	L _{juin} mm	L _{juil} mm	L _{total} mm	Drainage mm	ETR mm	Stock final mm
L _{mesuré}	770	50	18	84	32	553	101
L _{univoque}	770	25	13	73	36	560	101
L _{séquentiel}	770	48	16	99	17	552	102



Pluie	Lp (mm)	Lr (mm) arachide		Lr (mm) mil		Kc (mm/h)	
		T0	T1	T0	T1	arachide	mil
P1	35	10.1	0.4	9.3	0	-	-
P2	35	19	8.3	16.5	4.2	-	0.4
P3	35	5.5	0.2	4.4	0	0.2	0.6
Total	105	34.6	8.9	30.2	4.2	-	-
%	-	32.9	8.5	28.8	4	-	-

Relations entre l'intensité d'infiltration (i_i) et la hauteur de pluie cumulée (L_p). Influence du travail du sol.

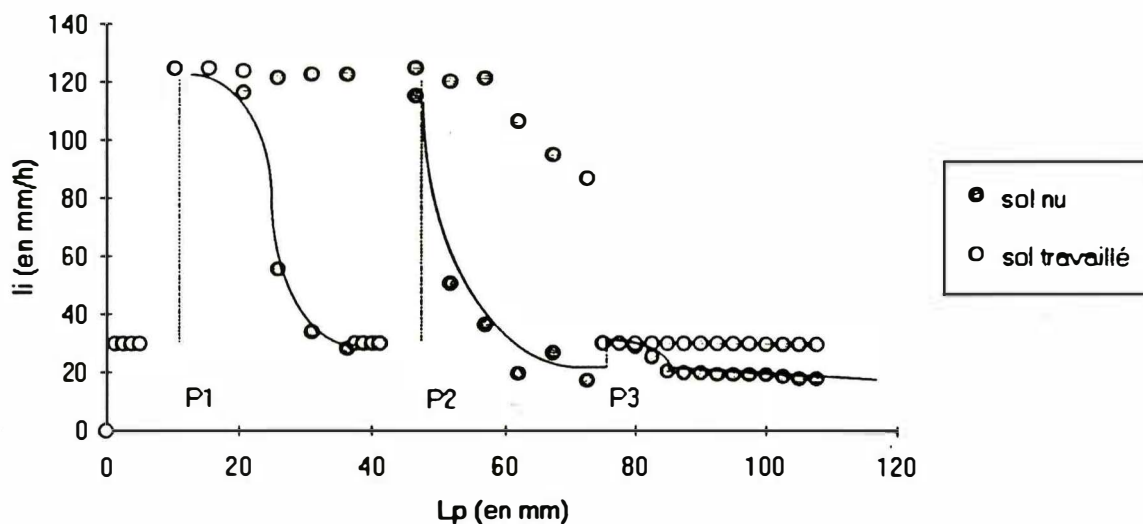


Tableau 1 : Fréquences de retour et hauteurs moyennes des pluies exceptionnelles (1932-1988), comparaison à la série 1970-1990. Poste pluviométrique: PAPÉM.
(Source: DACOSTA, 1991)

Pluie	Période de retour			
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans
hauteur (mm)	77.4	94.6	107.7	120.8
fréquence théorique (1932-1988)	0.5	0.2	0.1	0.05
nombre d'évènements (1970-1990)	12	5	2	0
fréquence observée (1970-1990)	0.60	0.25	0.1	0

Tableau 2 : Evolution de l'occupation des sols entre 1970 et 1988.
(Source: VALET, 1985 ; PEREZ et SEGUIS, 1991)

Année	1970	1983	1988
Surface cartographiée (km²)	113	113	225
Type d'image	photo 1/20 000	photo 1/20 000	SPOT 20x20
Occupation des sols (%)			
Forêt	62	34	36
Jachère	10	2	-
Culture	28	64	47
Eau, bas-fond	-	-	6
Cuirasse	-	-	11
Total	100	100	100

Tableau 3 : Principales caractéristiques physicochimiques d'un sol ferrugineux de versant, mis en culture depuis 1970

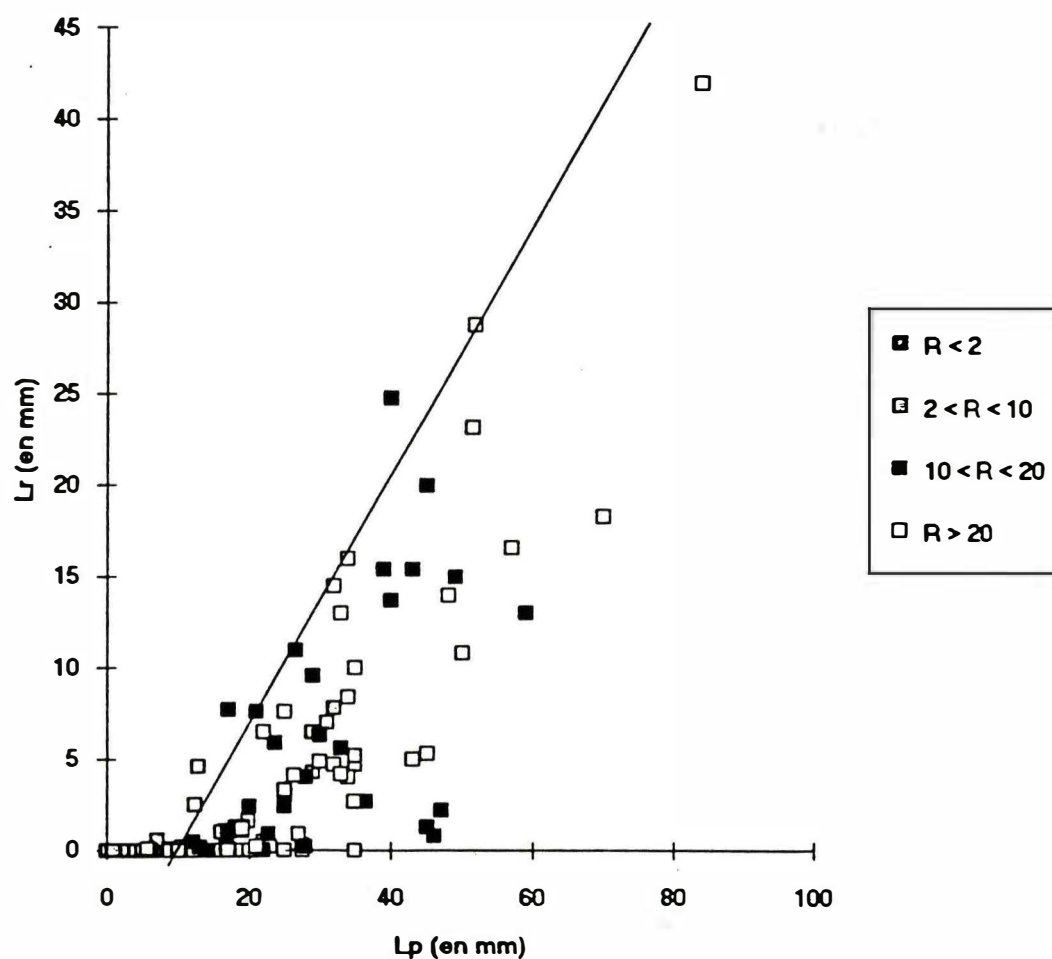
Horizon (cm)	Granulométrie					IG ⁽¹⁾ -	K ⁽²⁾ -	χ_d g/cm³	pH eau	M.O. %	Ntotal ‰	C/N	P _i O ₅ ppm	CEC meq%
	A	Lf	Lg	Sf	Sg									
0-5	4.1	2.7	14.1	47.2	31.9	0.52	0.15	1.55	5.7	0.43	0.25	9-10	20	2.0
15-25	10.2	3.1	13.1	42.6	30.8	0.55	0.15	1.40	4.9	0.35	0.25	8-9	5	2.5

⁽¹⁾ IG = Sg/Sg + Lg (DUCREUX, 1984)

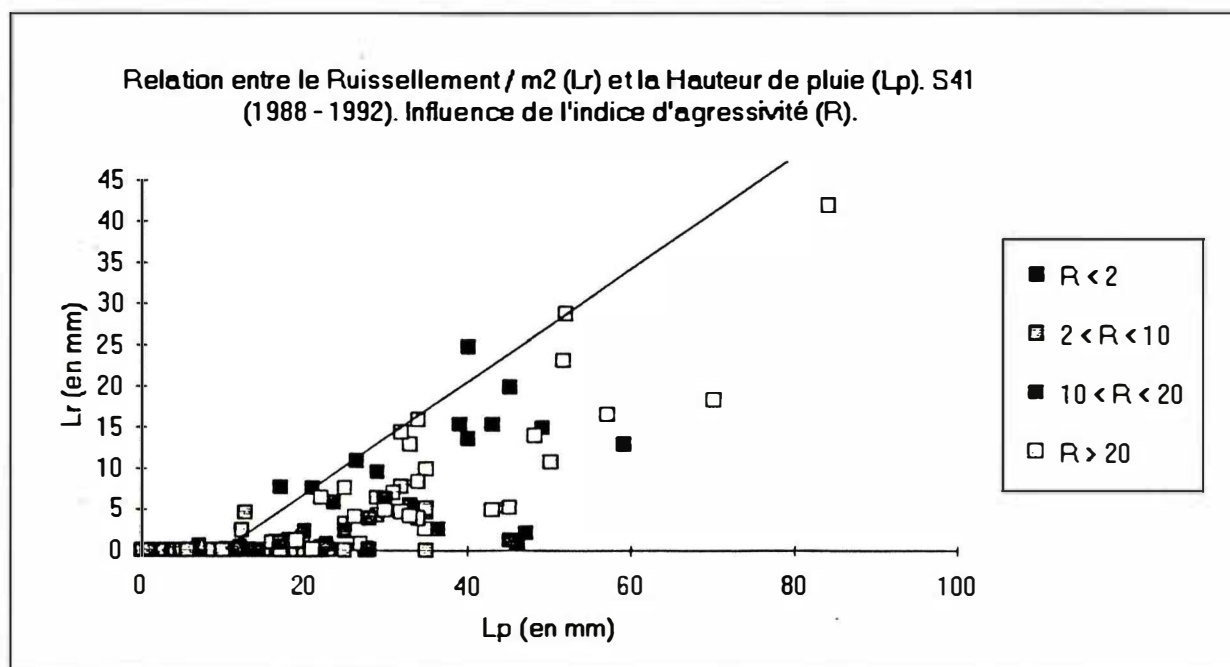
⁽²⁾ K = indice d'érodibilité (WISCHMEIER et al, 1971)

Année	Lp (mm)	Rusa	Lr (mm et %)			
			S41	S43	S44	S46
1988.0	931.5	449.5	239.3	222.4	389.7	204.5
			25.7	23.9	41.8	21.9
1989.0	752.1	258.2	68.7	66.2	135.2	128.7
			9.1	8.8	18.0	17.1
1990.0	488.4	246.7	67.0	51.9	105.1	74.5
			13.7	10.6	21.5	15.2
1991.0	505.1	267.0	55.7	68.3	82.0	68.8
			11.0	13.5	16.2	13.6
1992.0	594.1	320.0	85.0	96.2	159.6	69.2
			14.3	16.2	26.9	11.6

Relation entre le Ruissellement / m² (Lr) et la Hauteur de pluie (Lp). S41 (1988 - 1992). Influence de l'indice d'agressivité (R).



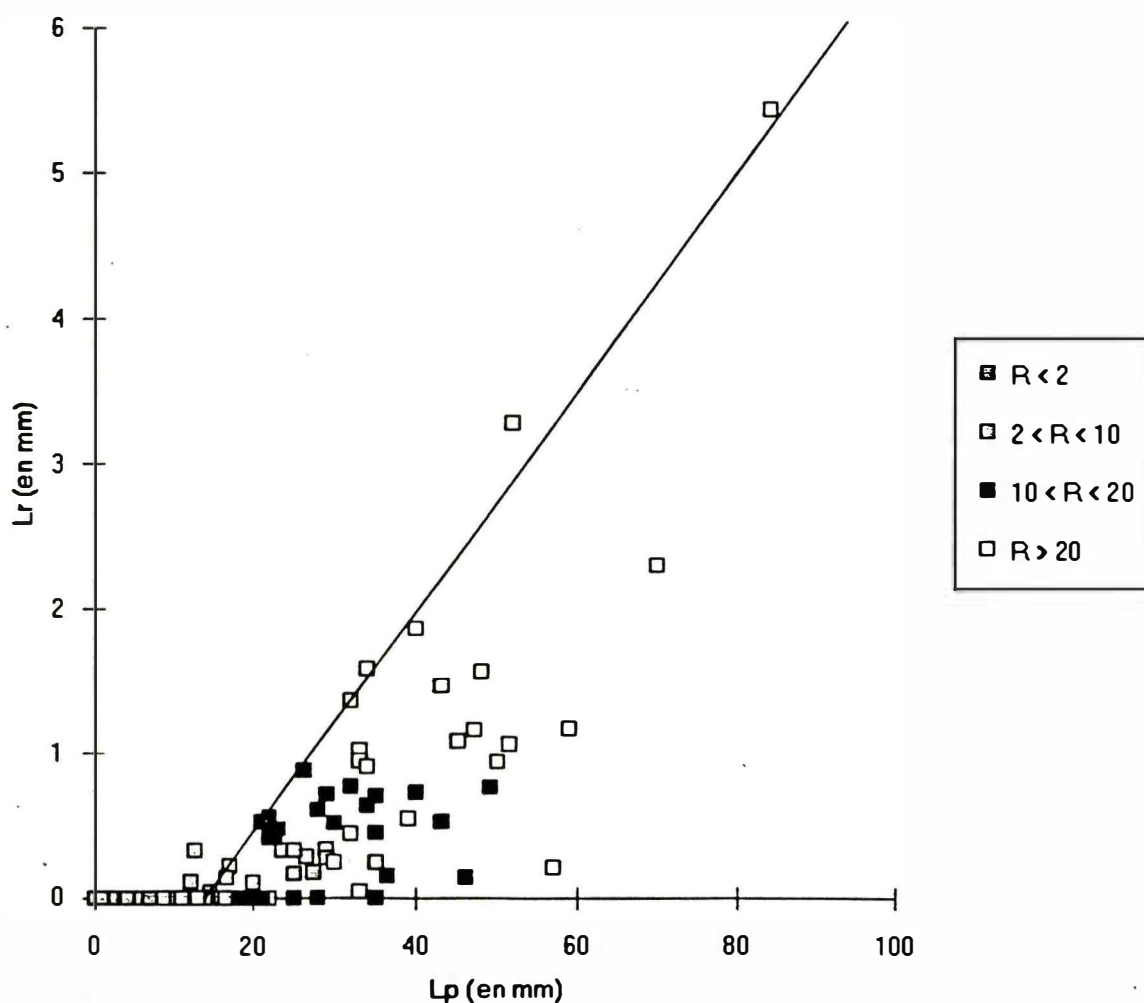
Année	Lp (mm)	Rusa	Lr (mm et %)			
			S41	S43	S44	S46
1988.0	931.5	449.5	239.3	222.4	389.7	204.5
1989.0	752.1	258.2	68.7	66.2	135.2	128.7
1990.0	488.4	246.7	67.0	51.9	105.1	74.5
1991.0	505.1	267.0	55.7	68.3	82.0	68.8
1992.0	594.1	320.0	85.0	96.2	159.6	69.2

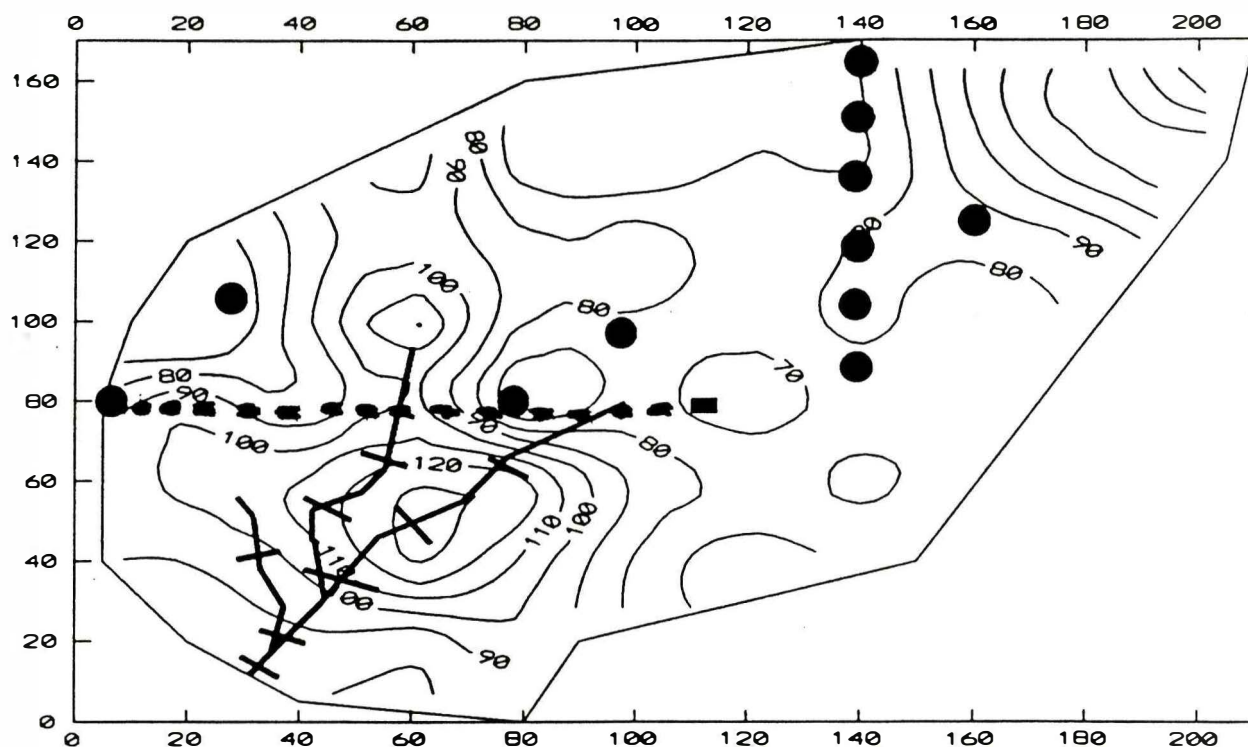


Année	Lp (mm)	Rusa	Vr (m3)	Lr (mm)	Kr (%)	Ts (kg)
1988	931.5	449.5	962.7	40.1	4.3	1640.0
1989	752.1	258.2	75.6	3.1	0.4	200.0
1990	488.4	246.7	645.5	26.9	5.5	1808.0
1991	505.1	267.0	635.2	25.4	5.0	952.6
1992	594.1	320.0	112.4	4.7	0.8	184.7

(10 données absentes sur 205 évènements enregistrés)

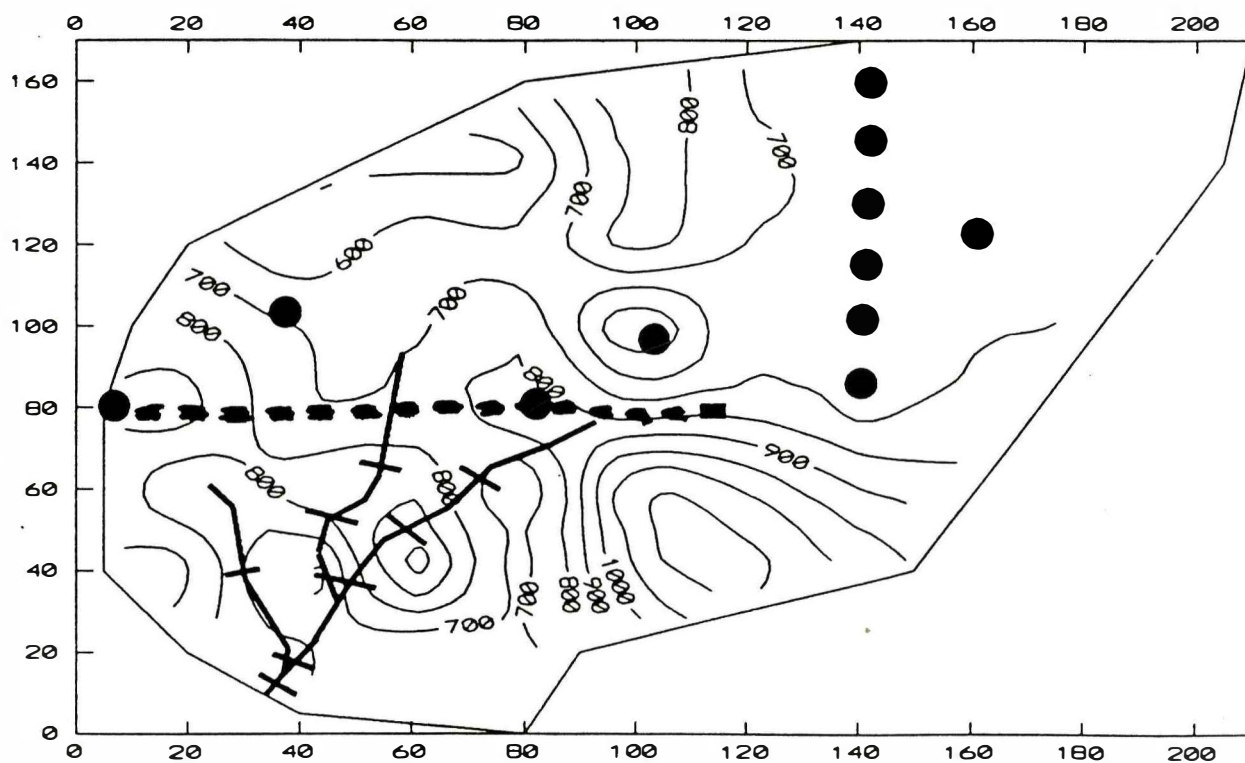
Relation entre le ruissellement (Lr) et la hauteur de pluie (Lp).
Bassin versant S4 (1988 - 1992). Influence de l'indice
d'agressivité (R).





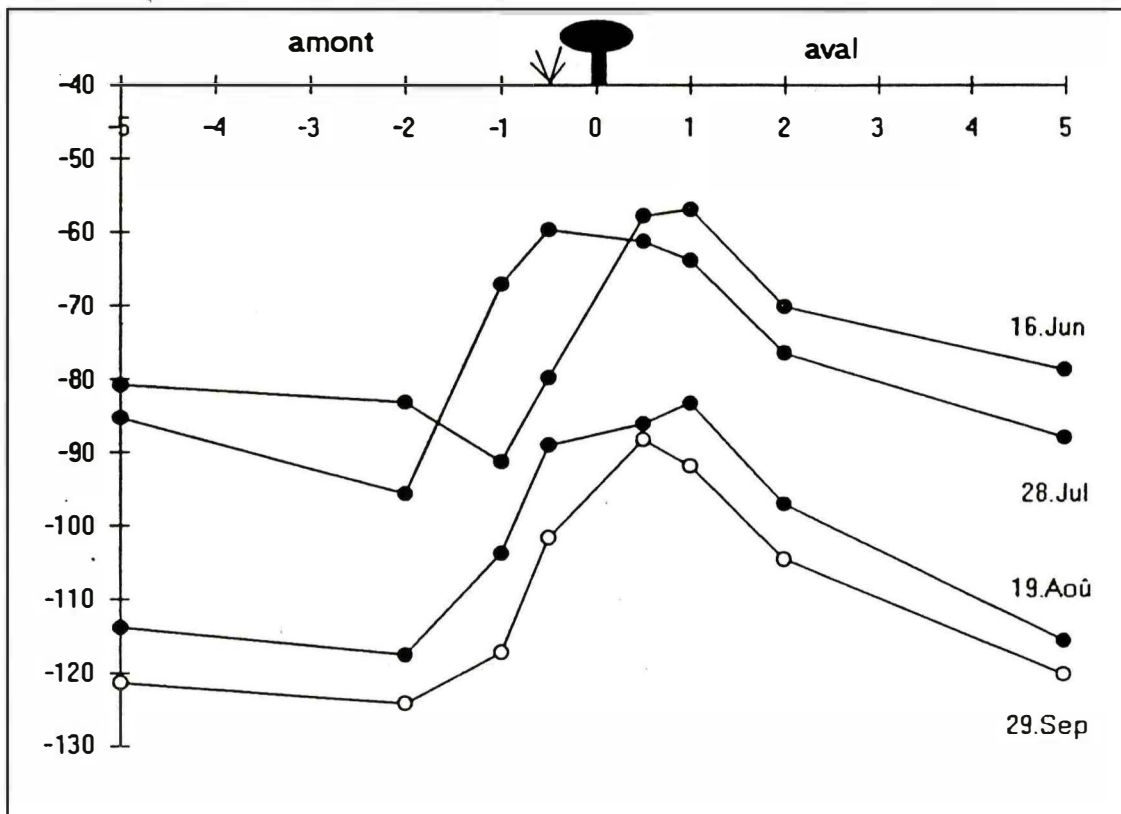
A: Répartition des stocks hydriques (0-100). Bassin versant S4, maillage 20x20 (Nov 91).

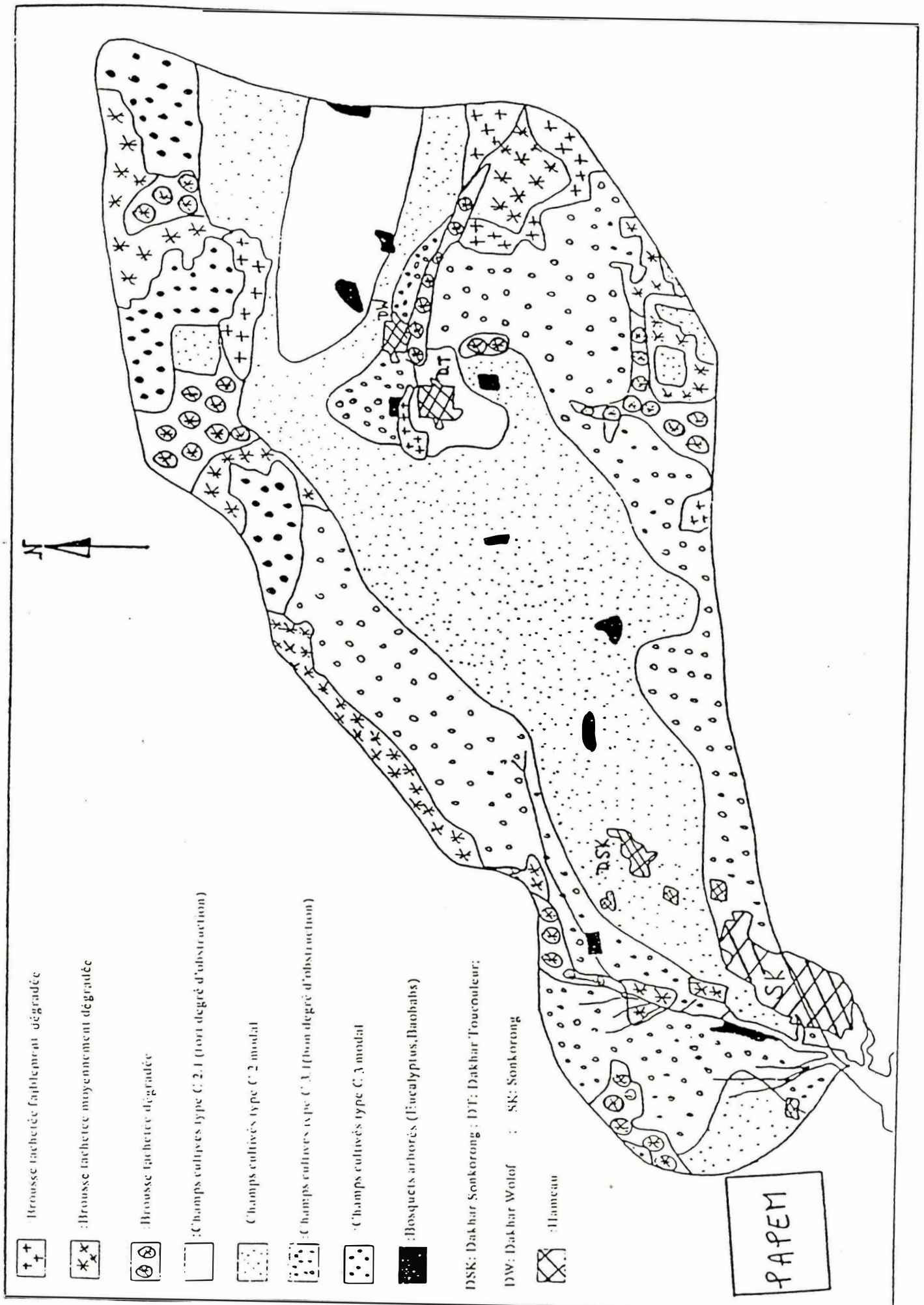
E: Répartition des rendements graines (arachide). Bassin versant S4, récolte le 30/10/91.



Année	Période	Variations de stocks [0-250] (en mm)			
		S41	S43	S47	Excédent S47
1989	12.Jun	32	40	92	56
	27.Jun	36	46	74	33
	11.Jul	10	21	25	9
	18.Jul	15	16	26	11
	02.Aoû	21	22	16	-5
	15.Aoû	25	22	23	0
	29.Aoû				
	Total				104
1990	19.Jun	26	20	29	6
	17.Jul	11	15	54	41
	07.Aoû	34	29	72	40
	30.Aoû	-12	-12	-2	10
	19.Sep				
	Total				97

Influence de la haie-vive sur l'évolution des stocks hydriques (0-100). Bassin versant S4 1992.





Carte 8 : Carte des états de surface du bassin versant de Sonkorong
(échelle : 1/20 000)

Acteur

Agronome

Objectifs

Limiter le phénomène de dégradation générale en agissant sur toutes les composantes du paysage

Thèmes

Améliorer la gestion de la M.O.

Stabiliser paysage agraire

Adapter les techniques culturales

Réalisations

Adéquation travail sol/M.O.
Gestion de la rotation

Maillage du paysage
Stabiliser les ravines

Gestion parcours
Augmenter offre fourragère
Gestion troupeau

PRIORITE

- Ralentir les eaux superficielles
- Diminuer ruissellement
- Stopper départ des fines

Réalisations

DENOMINATEUR COMMUN

Augmenter productivité des terres

Aménagement de la piste

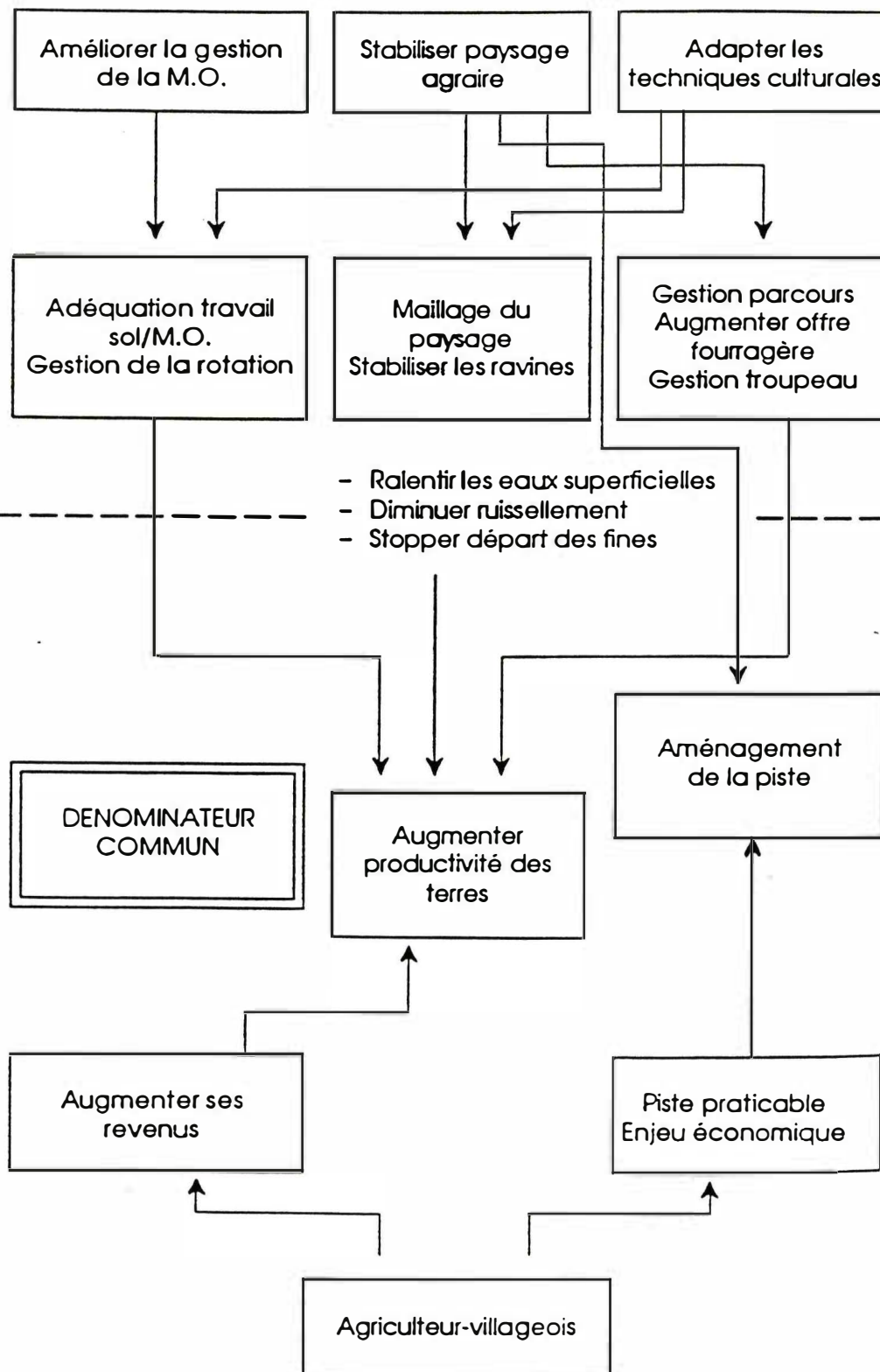
Objectifs

Augmenter ses revenus

Piste praticable
Enjeu économique

Acteur

Agriculteur-villageois





SESSION 3

LES METHODOLOGIES DU BILAN HYDRIQUE AGRICOLE

SESSION 3

MODELES DE SIMULATION

C. BARON et A. CLOPES

***Présentation et démonstration de DHC4 et SARRA :
Modèles de BH ; PRODCLIM : base de données.***

OBJECTIFS

Recherche en Coopération pour le Développement

FAIBLE COUT

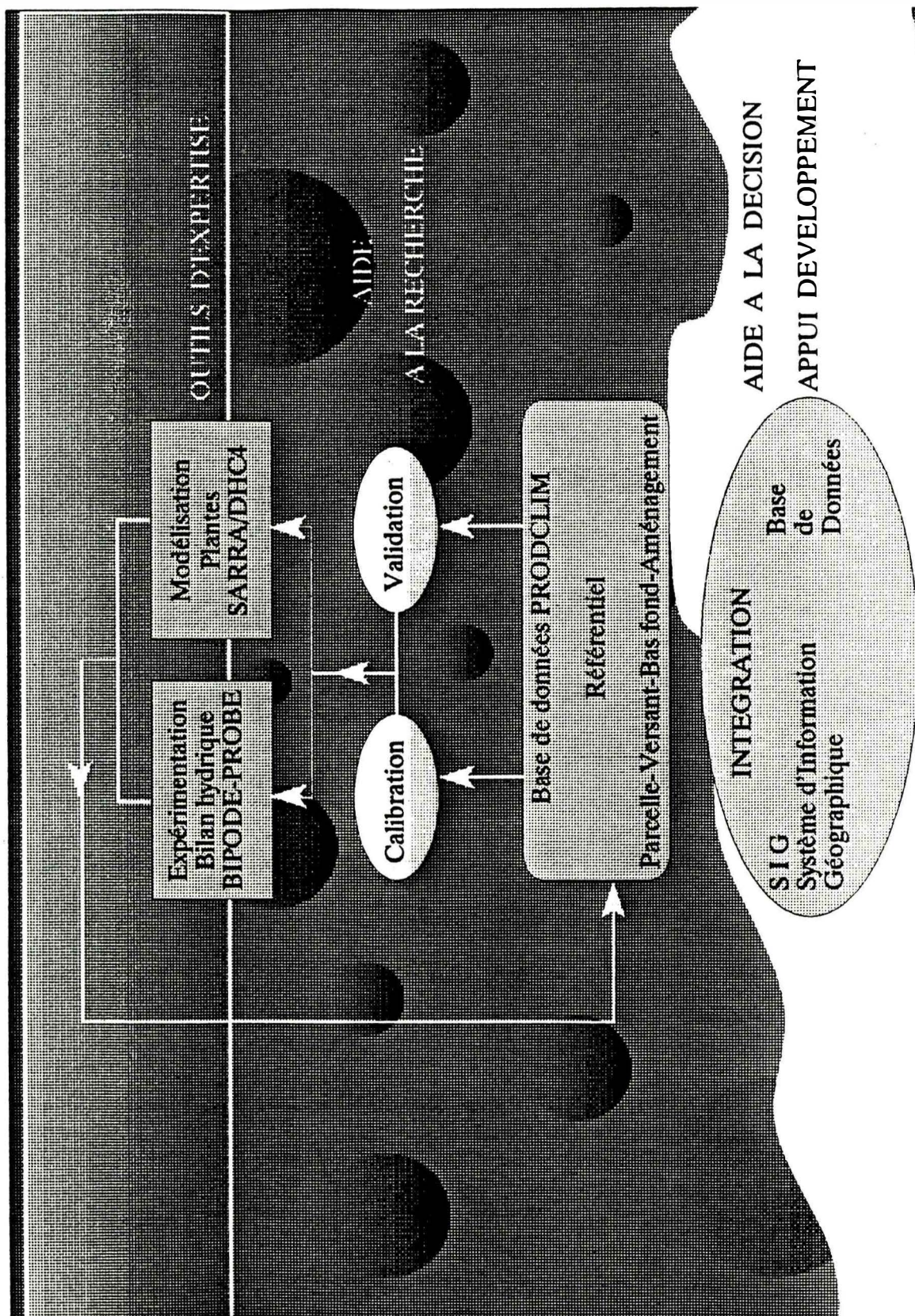
CONVIVIALITE

ACCESSIBILITE

Pour l'utilisateur

Des données

INDEPENDANCE TERRAIN



Bilans hydriques et suivi climatologiques

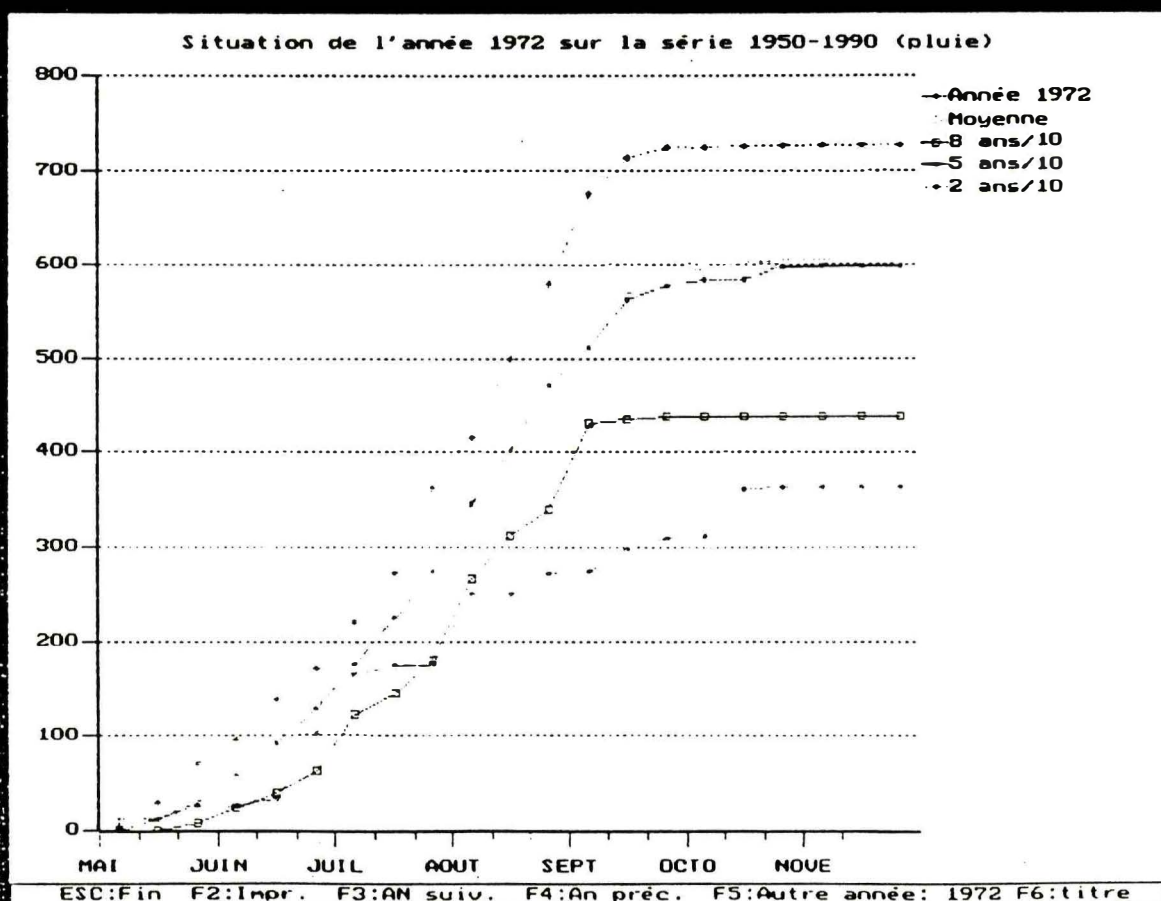
- Analyses comparatives de données chronologiques



- Suivi à la parcelle (M. Vaksman)
 - BIPODE : Bilan hydrique et conseil à l'irrigation
 - NEMA : Suivi Neutronique
 - SANJI : Gestion de données climatiques et de stations CIMEL

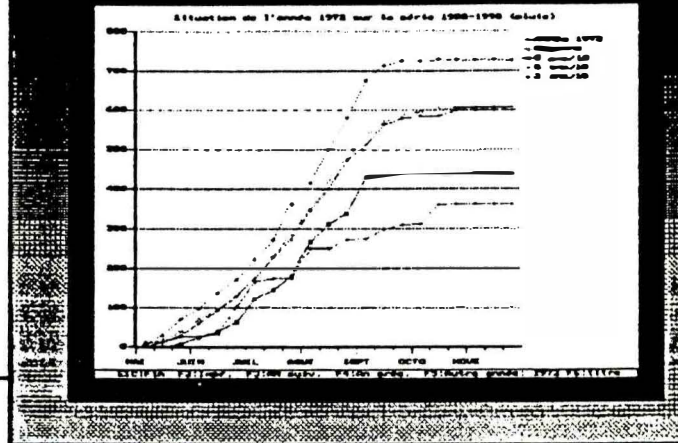
SARRA

Analyses comparatives de données climatologiques



SARRA

Système d'Analyse Régionale des Risques Agroclimatologiques



Objectifs et méthodes :

Analyses comparatives permettant l'étude :

- ☛ des facteurs climatiques.
- ☛ d'impact et de risque des techniques culturales sur la satisfaction en eau des cultures pour l'évaluation des rendements potentiels

Ces analyses portent simultanément sur :

- ☛ plusieurs stations
- ☛ plusieurs séries chronologiques
- ☛ plusieurs techniques culturales

Types d'analyses :

- Moyenne, Minimum, Maximum et Occurences
- pour différentes séries chronologiques,
- différents pas de temps (pentades,decades, mois)
- les données étant le cumul, la moyenne, le minimum ou maximum du pas de temps retenu.

Menu analyse

Analyses	Sélection	Sorties	Fin
----------	-----------	---------	-----

Type de Données

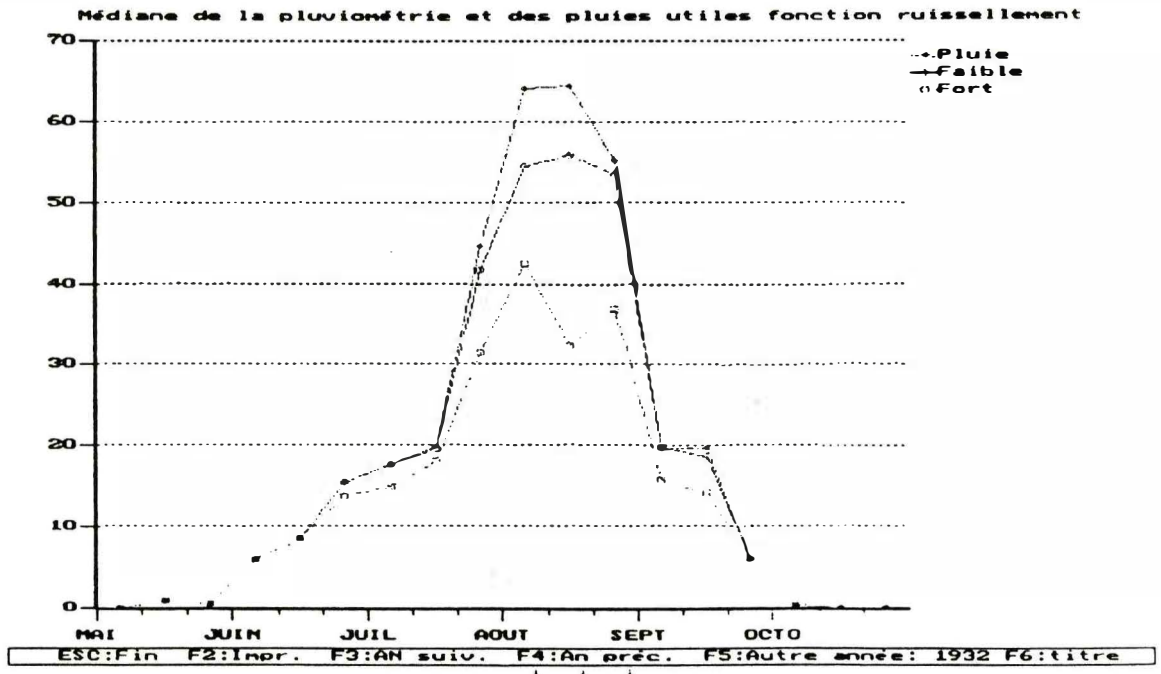
- Pluviométrie
- Température Minimum
- Température Maximum
- Température Moyenne
- Humidité Minimum
- Humidité Maximum
- Humidité Moyenne
- Durée insolation
- Rayonnement global
- Rayonnement diffus
- Evapo-transpiration pot.
- Vitesse du vent

pluie Réelle	Oui
pluie utile 2	Non
pluie utile 3	Oui

rien Dispo : 210391 <F1> Aide <^X> Fin
 Analyses sur la pluie utile après ruissellement sur sol de type 1

Impacts du ruissellement sur la pluie utile

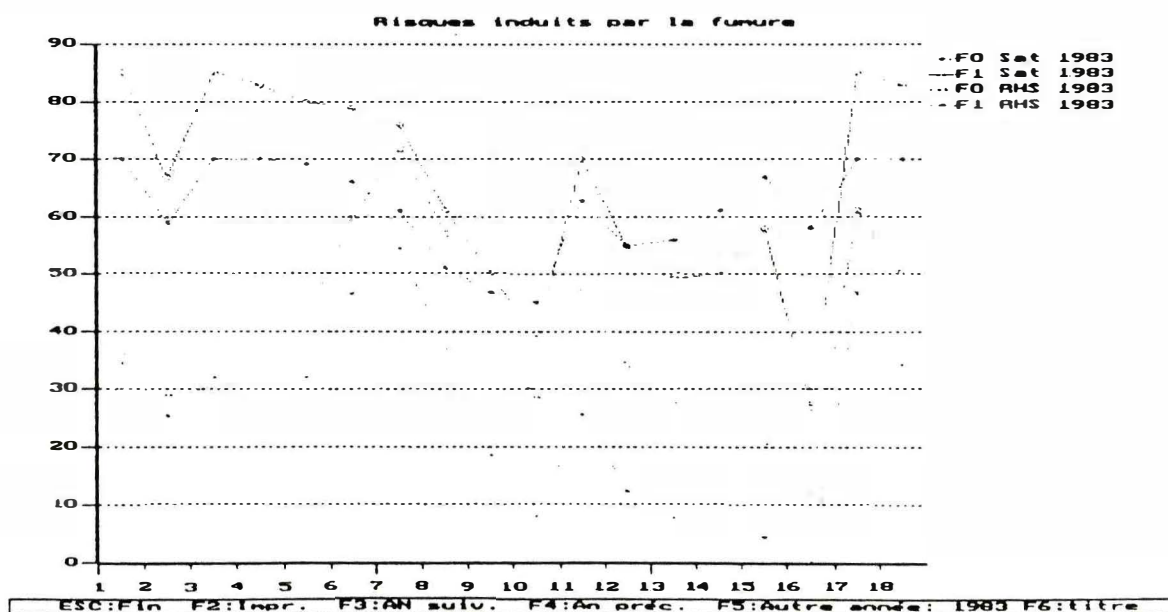
(Casenave et Valentin ORSTOM)



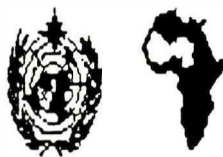
[illegible]

Choix des résultats

Variations du stock d'eau et de la satisfaction en eau fonction de la pluviosité et de la fumure



Centre AGRHYMET



Logiciel
de diagnostic
hydrique des cultures

©1992

DHC
version 4



Centre AGRHYMET



Logiciel
de diagnostic
hydrique des cultures

©1992



Logiciel de diagnostic hydrique des cultures

Bilans pédoclimatiques pour la cartographie.

Gestion d'un grand nombre de stations pour différentes conditions de sols et de calendriers culturaux pour :

- ☛ le suivi annuel des cultures
- ☛ la prévision des rendements
- ☛ l'occurrence des satisfactions en eau des cultures et des dates de semis optimales

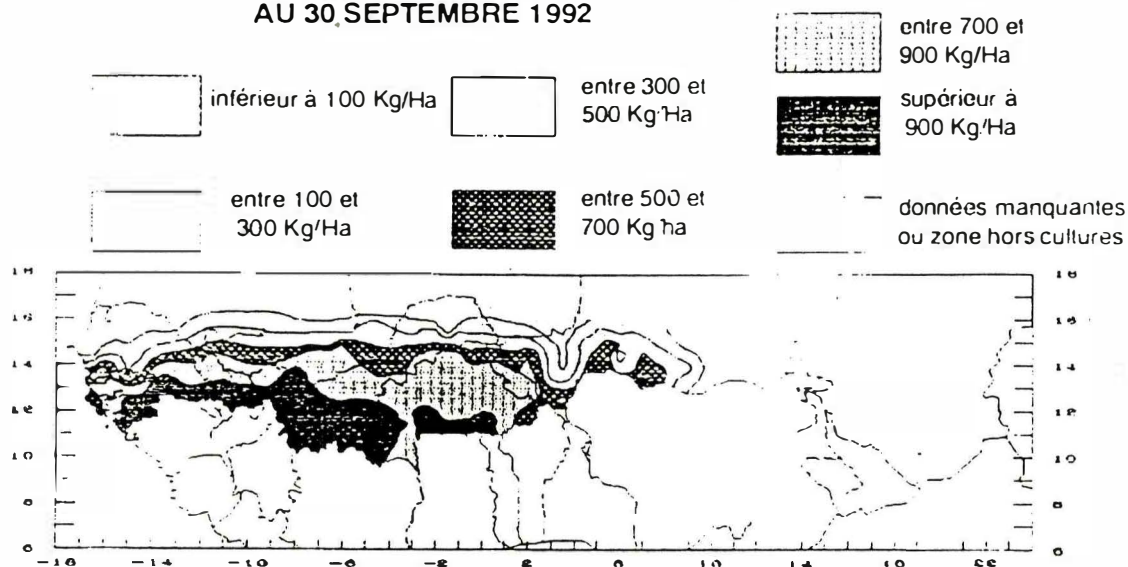
Couplage avec les banques de données Agrhymet et nationales :

- ☛ Climbase
- ☛ Atlas Cills (ETP)

Gestion optimisée des sorties :

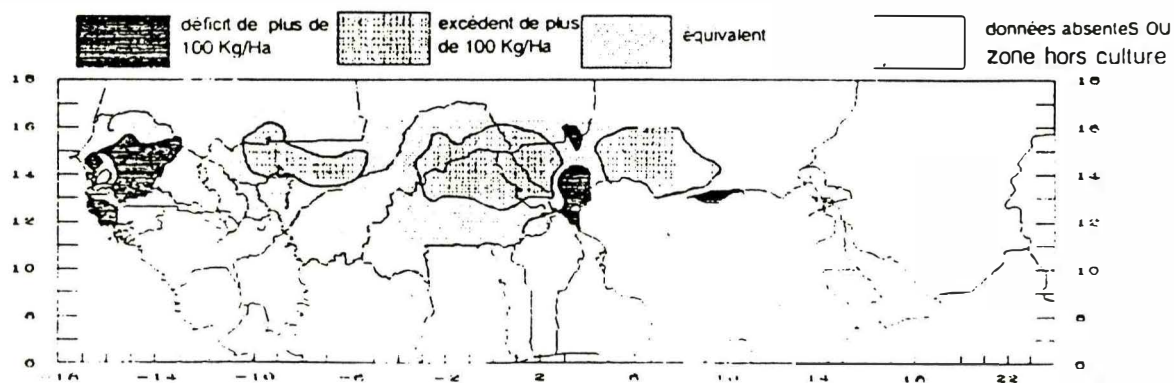
- ☛ Sélection des variables et paramètres
- ☛ Interfaces :
 - ☛ Bases de données (DBases)
 - ☛ Ecran
 - ☛ Texte .. (Surfer)
 - ☛ Imprimantes
 - ☛ Tableau (Traitement de textes)

**ESTIMATION DES RENDEMENTS POUR LES
VARIETES TARDIVES (MIL DE 120 JOURS)
AU 30 SEPTEMBRE 1992**

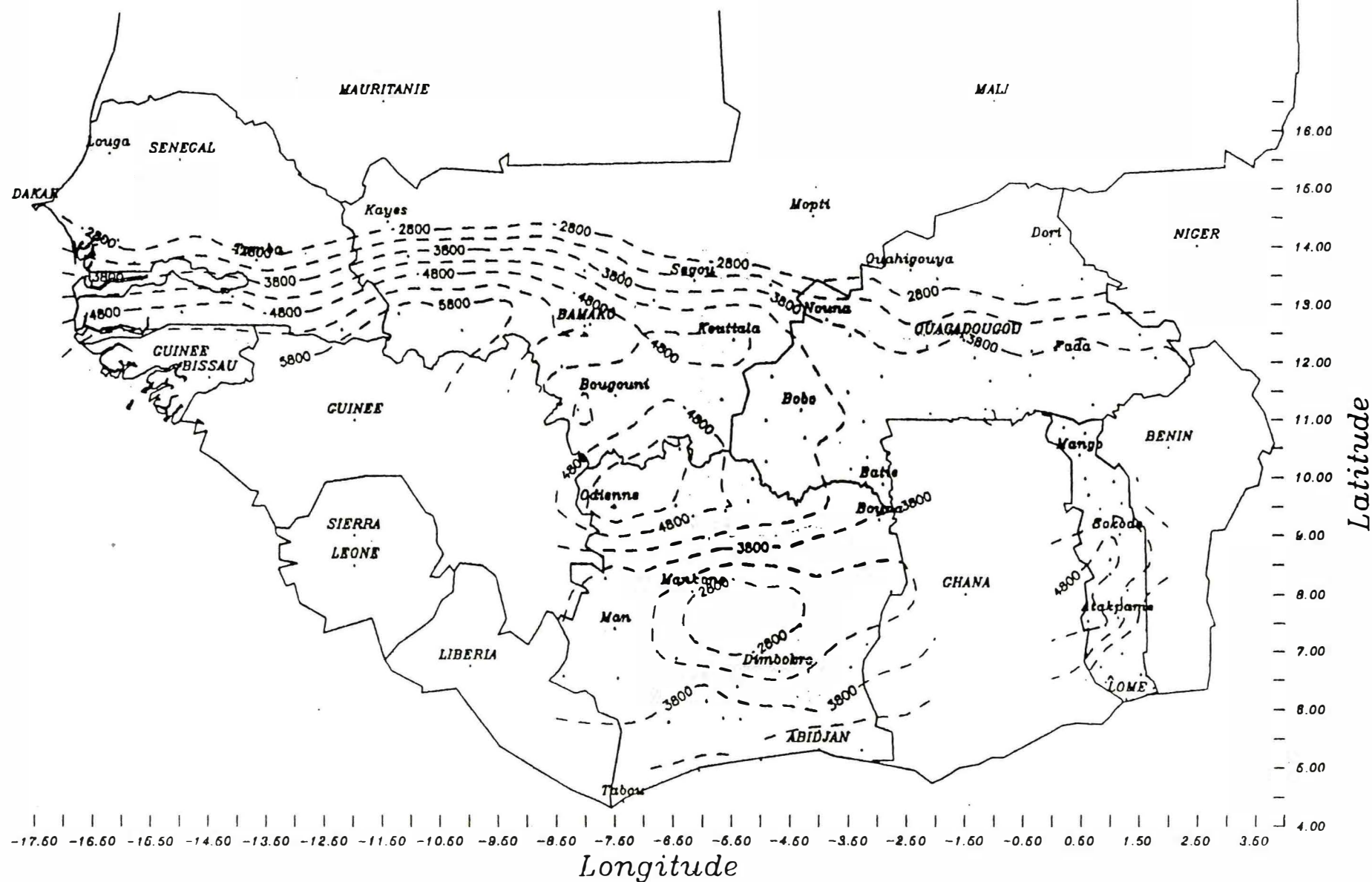


**Diagnostic hydrique des cultures
Agrhymet 1992 (B. Cortier)**

**ECART DES RENDEMENTS ESTIMES
PAR RAPPORT A LA NORMALE (1968-1985)**



Carte 11 :
Rendement espere d'un mais 110 jours pour une RU de 90 mm



Gestion des stations en fonction des zones climatiques des types de cultures, des pays ...

DHC Ver 4.0

Bilan annuel autres bilans Edition Résultats RetourDOS

Réserve utile

Culture Secondaire

STATION	CultPrin	(Cult cycle)	SEM	PRE	MOR	TAR	T
DBRI	200026	MIL	90	5/1	6/4	7/2	1
FADA N GUARMA	200089	MIL	90	6/1			
OUAGADOUGOU AERO	200001	MIL	90	6/1			
BATAIA	190003	MIL	90	5/1			
BISSAU AIRPORT	190001	MIL	90	5/1			
BISSAU OBSERVATOIRIO	190021	MIL	90	6/1			
BISSORA	190009	MIL	90	6/1			
BCLAMA	190002	MIL	90	6/1			
EMPADA	190025	MIL	90	6/1			
PITCHES	190017	MIL	90	6/1	6/5	7/3	
SOMACO	190012	MIL	90	5/1	6/5	7/3	
BAHAKO SENGU	270131	MIL	90	6/1	6/4	7/2	
KAYES	270053	MIL	90	5/1	6/4	7/2	
KIDAL	270017	MIL	90	6/1	6/4	7/2	
ABALA	320049	MIL	90	5/2	6/2	7/1	
AGABEZ	320040	MIL	90	5/2	6/2	7/1	

PRECOCE : Mois = 6
 Pentade = 3
 NORMALE : Mois = 7
 Pentade = 1
 TARDIVE : Mois = 7
 Pentade = 3

<F1> Aide

<ESC> Abandon <CTRL ENTER> SUITE <flèches> Déplacements

Gestion des paramètres de simulations

Bilan Hydrique de suivi des cultures

Lancement du bilan

Retour

Paramètres de la simulation

Année(s) : 1993

Stations : 31/31

Pentades de simul. : 5/1 à 2/5

Nombre de Simulations : 372

Dates semis : Réserve utile :

Précoce : Faible

Normale : Moyenne

Tardive : Forte

Méthode Uniquement : Ru Unique

Cultures retenues :

Principale Secondaire

Réserve utile

Faible

Moyenne

Forte

Ru Unique

Non Dispo : 243156

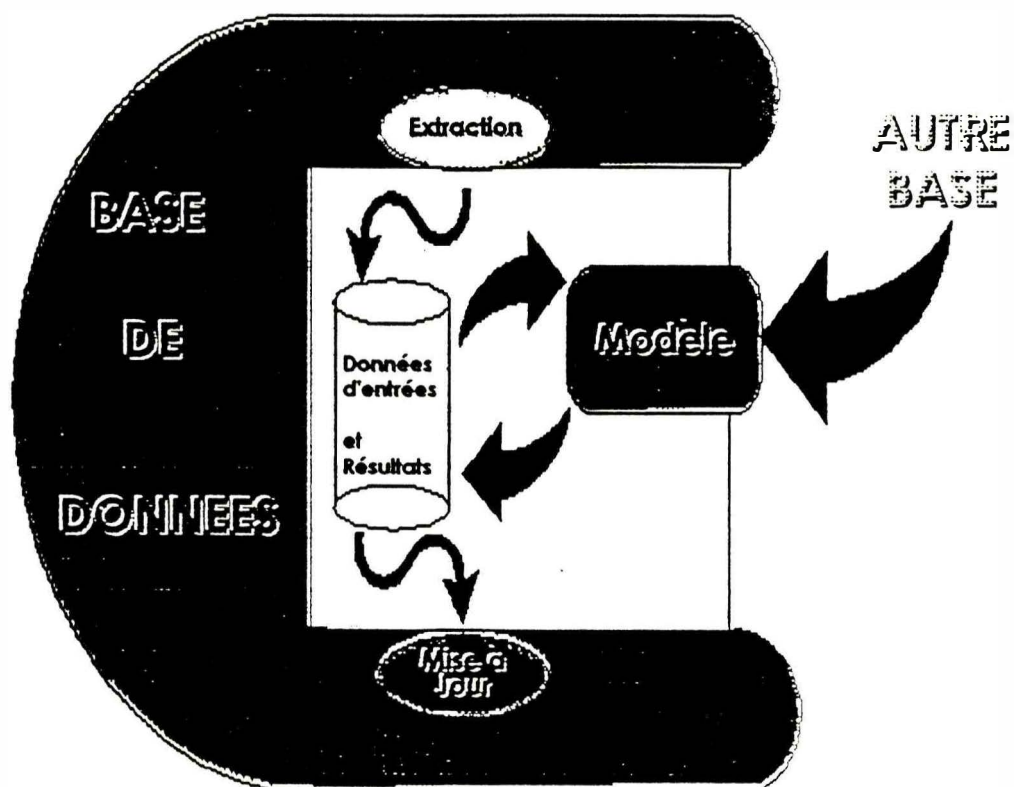
<ESC> Abandon <Enter> Séléct/Désélect <CTRL ENTER> SUITE <flèches> Déplacements <F1> Aide

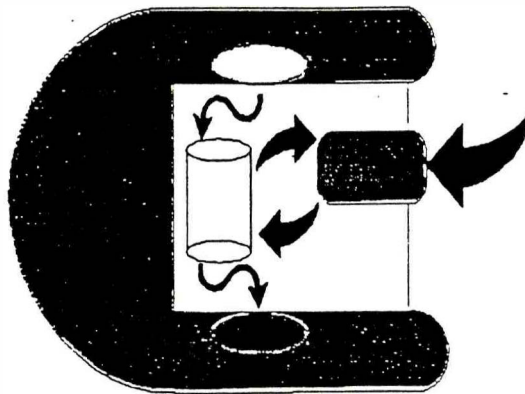
BASE DE DONNEES & MODELE INTEGRE

- Requêtes Multicritères-Multivariées (SQL)
- Contrôles & convivialité
 - Séries (Tables)
 - Accès (Codes)
 - Requêtes
- Gestion complètes d'un modèle et lien avec d'autres bases
 - Personnalisation de la base
- Ajout de variables par l'utilisateur
- Application de la méthode à d'autres bases (Proclim et Assolément)

MODELE ET BASE DE DONNEES

Adaptée aux chercheurs terrains





MODELE ET BASE DE DONNEES PRODOLIM (Projet ESPACE)

Gestion de données d'enquêtes agroclimatologiques en milieu paysan

Autonomie des chercheurs

- ☛ Requêtes multicritères-multivariées
- ☛ Ajout de variables personnalisées totalement intégrées à la base

Convivialité et contrôles

- ☛ Saisies contrôlées par des listes
- ☛ Aide contextuelle, code d'accès

* Modèle intégré à la base

- ☛ Les données d'entrées du modèle sont gérées par la base
- ☛ Gestion des liens avec la base de données climatologique
- ☛ Adaptation de paramètre(s) du bilan en fonction de l'échantillon retenu
- ☛ Mise à jour de la base des résultats du modèle

Gestion des données géographiques

LOCALISATION	
PAYS : CAP VERT	REGION : SANTIAGO
SITE : BOA ENTRADA	VILLAGE : BRAGAUSA
Année : 0	Parcelle : 0

MODIFICATION	PAYS	REGIONS	SITES	VILLAGES
MODIFICATION SORTIR REGIONS SITES VILLAGES	CAP VERT MALI NIGER SENEGAL	PICOS SANTA CAT SAO DOMIN SAO JORGE	CHA TAVARES JULAUGUE MARIA CARIA	

Confirmation (O/N) 0

Saisie contrôlée par des listes

LOCALISATION		26/02/93
PAYS : CAP VERT	REGION : SANTIAGO	
SITE : BOA ENTRADA	VILLAGE : BRAGAUSA	
Année : 1990	Parcelle : 64	

Nom de l'exploitant VIRIATO

PLANTIE :

Espece	MAIS	Variété	LOCALE
Phases d	Cycle 119		
	NCB	10/90	
	SR-22	11/90	
	SYNTHETIC C		
	TIEMANTIE		

Profondeur 0

Date réelle de cette mesure / /

Précédent cultural MAIS

Les variables sont choisies au sein de listes détaillées

PLANTES	
Variables en sortie	
SORTIR	
FAUCON	Date de levée
ENHERBEMENT/DEGATS	Date de maturité
TECHNIQUES CULTURALES	Date de relevée
FUMURES/SARCLAGE	Date de récolte
RENDEMENTS	Date récolte de la mesure de profondeur
BILAN HYDRIQUE	Date à 50% de floraison
	Durée de cycle
	Nom de l'exploitant
	Nom de la variété
	Profondeur racinaire à 30 jours (en cm)
	Précédent cultural

Partie EXTRACTION Variables en sortie Choix Données annuelles

Suite à la requête les données sont
extraites ou utilisées pour le bilan hydrique

GESTION DES DONNEES	GESTION DES TABLES	FIN	Divers
PROD			
SORTIR			
Critères de sélection			
Variables en sortie			
Stocker les choix			
Supprimer un choix			
Lancer l'extraction			

SESSION 3

POINT DE VUE DU CHERCHEUR UTILISATEUR

A. MAYEUX

***Application de BIPODE, SANJI & NEMA à la calibration
et l'interprétation d'expérimentations arachide à
Sébélé (Botswana).***

COMPARAISON BILAN HYDRIQUE MESURE ET SIMULE DE L'ARACHIDE

**STATION DE SEBELE (BOTSWANA)
Alt.994m Lat. 24° 34'S**

OUTILS

- . NEMA Traitement mesures humidité du sol**
- . SANJI Enregistrement données météo.**
- . BIPODE Modèle simulation bilan hydrique**

UTILISATION DU MODELE

CALIBRATION

- . Réserve en eau**
- . Ruissellement**
- . Vitesse d'enracinement**
- . Coefficients cultureux (Kc)**

VALIDATION

. Ecart quadratique sur ETR
décadaire mesurée.

Traitements	0% Ruis.	17% Ruis.	Kc fin de cycle
Situation calibrée	3.8		
Situation 1	16.0		8.3
Situation 2	5.5		
Situation 3	20.0	17.3	11.1
Situation 4	8.3	3.1	
Situation 5	5.9		

PERSPECTIVES EN VUE D'UNE MEILLEURE UTILISATION DES RESSOURCES EN PLUIES

- Sur le plan scientifique

- . Définir Indice de Rendement Espéré (IRESP)**
- . Définition idéotypes variétaux**

- Sur le plan développement

- . Zonage agro-climatique :**
 - * des itinéraires techniques**
 - * des variétés**



SESSION 4

LES NOUVELLES FINALITES

Questions aux invités

INTERET D'UNE RECHERCHE AGROCLIMATOLOGIQUE DANS LES ZONES TROPICALES HUMIDES

Quelle recherche pour l'U.R. "Gestion de l'eau"

Un des challenges de la recherche agronomique dans les zones tropicales humides est de créer (inventer) des systèmes de culture combinant les intérêts immédiats des producteurs et la préservation des potentialités des terres.

Une première approche se propose de développer des méthodes, techniques culturales qui conservent le sol et le protège de l'érosion, sous diagnostic préalable.

Les conséquences d'une telle démarche est l'apparition rapide de processus pervers se traduisant pour l'agriculteur par une productivité réduite en l'absence d'utilisation d'inputs coûteux (chaux par exemple...).

Une seconde approche, basée sur la caractérisation des termes du bilan hydrique se propose d'analyser le régime hydrique sous culture traditionnelle et d'analyser les processus hydriques, pédologiques susceptibles d'être contrôlés agronomiquement par la mise au point de systèmes de cultures (plantes annuelles et pérennes) contrôlés et sécurisés par des aménagements judicieux de l'espace :

Le pédoclimat prime le système de culture, lequel prime l'aménagement.

Dans cette perspective, l'étude des relations climat-sol-culture constitue une étape préalable à l'élaboration des stratégies de production.

L'U.R "Gestion de l'eau" en contribution aux programmes du CIRAD se doit d'engager ce type de recherche en zones humides (Brésil, Indonésie, Congo...) pour participer au développement des connaissances sur :

- Le régime hydrique des sols cultivés pour des pluviosités supérieures à 2000 mm,
- L'interaction structure des sols (micro-macroporosité) régime pluviométrique et environnement chimique du système racinaire à étudier au cours de la période de végétation.
- La réserve en eau utilisée par les systèmes racinaires en relation avec les caractéristiques établies au point 2.
- Le comportement des cultivars, en particulier le développement de la LAI et de la RAI surface racinaire.
- Les modes de gestion des sols qui améliorent l'enracinement en profondeur et réduisent les effets pervers (stress de la plante) liés à la non utilisation de l'excès hydrique stocké en profondeur.

Session 4

LE GAP SOUDANO-SAHELIEN* L'ECART ENTRE POTENTIALITÉ DE LA RESSOURCE EN PLUIES ET SA PRODUCTIVITE EN MILIEU PAYSAN

FN Reyniers

Dans les agrosystèmes soudano-sahéliens les forts écarts entre potentialité de la ressource en pluies et sa productivité en milieu paysan justifient-ils d'investir dans la recherche agronomique?

Cette problématique sera traitée dans un projet STD3/CEE. Son objectif est d'ajouter un volet minéral au *bilan hydrique agricole*. Bien que le rôle de l'alimentation hydrique dans la productivité du maïs, mil, ou sorgho ait été démontré comme essentiel, elle reste encore rarement quantifiée en conditions d'agriculture traditionnelle et en particulier sa réponse aux faibles intrants est mal connue (Dancette 1991). Un référentiel encore plus maigre est à déplorer pour l'efficience de l'eau consommée (Vachaud et al 1991). Les effets réciproques, des conditions hydriques sur les réponses à la fertilisation azotée, phosphatée et aux amendements sont aussi mal caractérisés (Pieri, 1989). Ces méconnaissances des interactions eau-fertilité d'une part compliquent le choix des itinéraires techniques dans les écosystèmes agro-pastoraux sahéliens (Penning de Vries et al 1982), d'autre part entravent la validation des modules de bilan hydrique généralement calibrés en conditions d'agriculture à forts intrants (Monteith, 1991 & Wallace, 1991). Pratiquement les questions restant en suspens sont: de la carence hydrique ou minérale laquelle faut il corriger? et comment?.

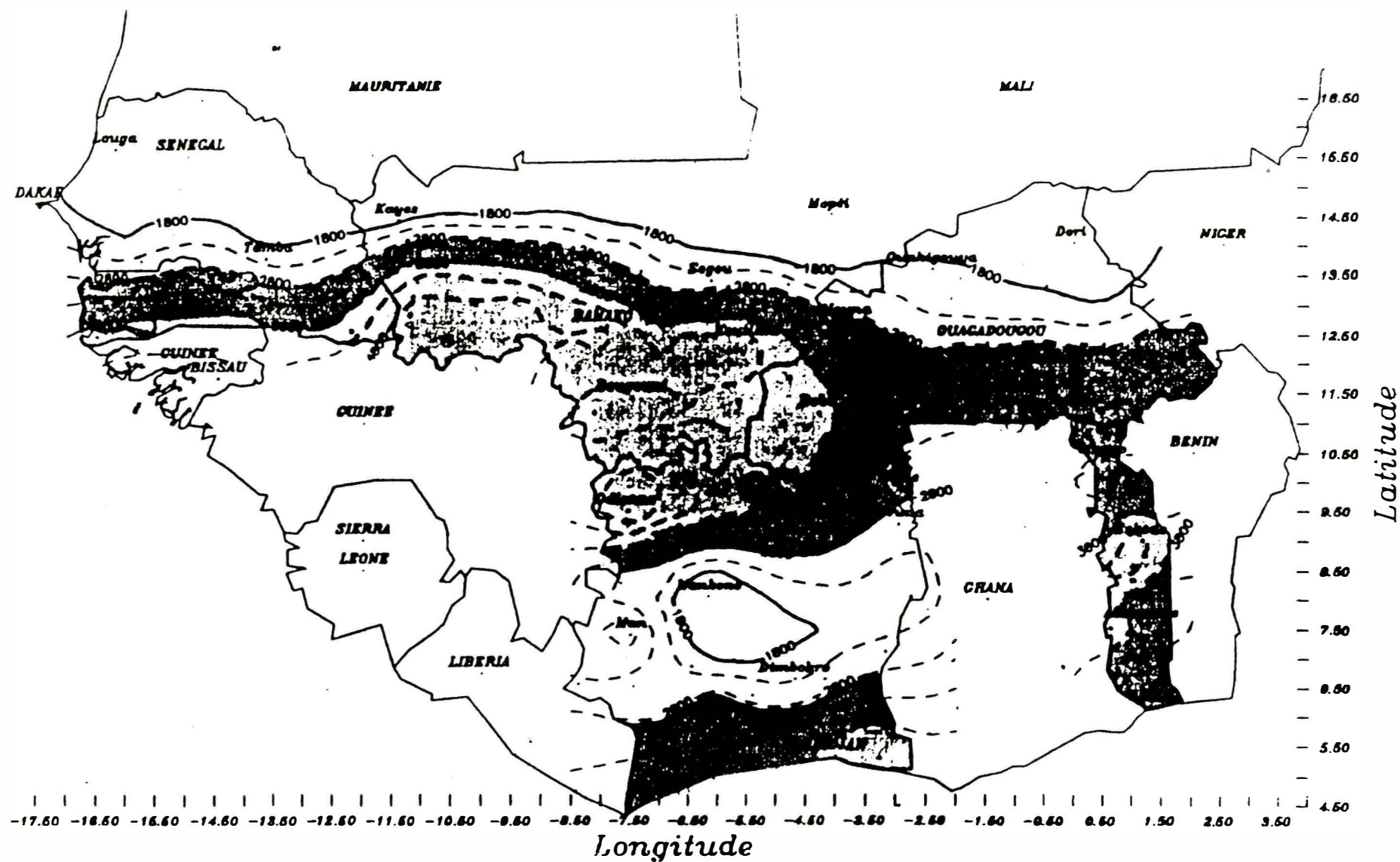
Pour y répondre une des orientations actuelles est la modélisation des interactions entre les facteurs hydriques et minéraux sous l'effet des itinéraires techniques simulés (Penning de Vries et al. 1989). Cette démarche a été appliquée à l'optimisation de la marge brute des paysans des régions semi-arides australiennes pour le choix des espèces ou variétés par Muchow et al (1991), pour la préparation du sol par Freebairn et al (1991), pour la densité de semis par Wade et al (1991) et en région semi-aride du Kenya pour la fertilisation azotée du Maïs par Keating et al (1991).

En conclusion les méthodes d'évaluation des risques en céréaliculture en relation avec les facteurs hydriques et minéraux sont à adapter à l'agriculture tropicale à faibles intrants. Sa grande sensibilité à ces facteurs et leurs variabilités supérieures à celle des régions tempérées doit orienter la recherche de modèles robustes et nécessitant un minimum d'entrées.

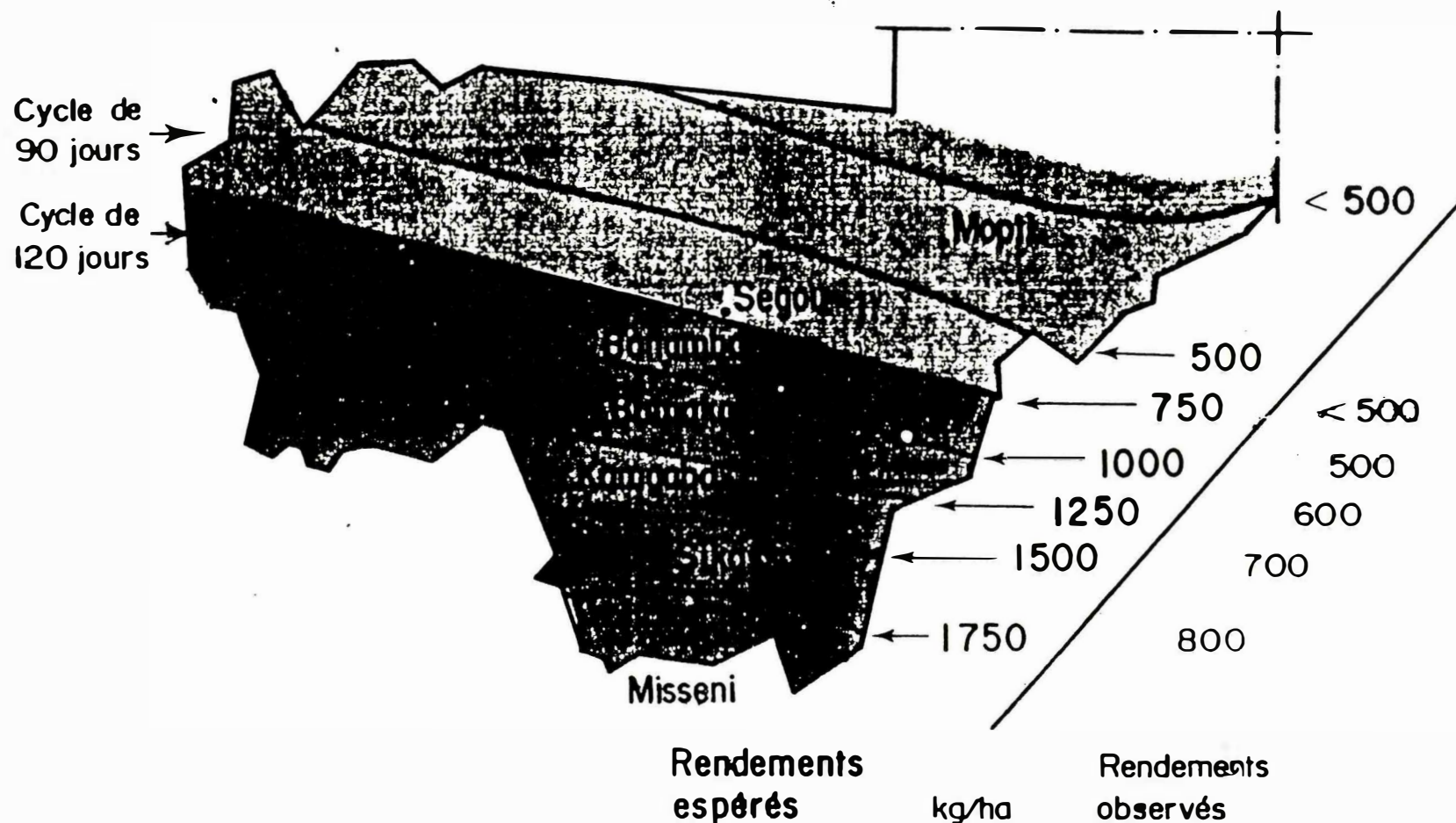
Coordonné par l'UR Gestion de l'Eau, ce projet associe deux équipes africaines et européennes.

*NB Le sujet n'a été qu'évoqué.

Carte 9 :
Rendement espere d'un maïs 110 jours pour une RU de 60 mm



Ecarts entre potentialités et réalités de la production du mil au Mali.



LA PLUIE BIEN UTILISEE EST UN FACTEUR DE PRODUCTION



SESSION 5

LES PROBLÈMES SCIENTIFIQUES



SESSION 5

LES PROBLEMES SCIENTIFIQUES

FL. MARAUX

Caractérisation des écosystèmes des zones humides et forestières

Bilan hydrique en zone forestière

Le cas de l'agroforesterie

Problèmes spécifiques:

- Excès d'eau

- Compétition pour la lumière

- Compétition pour l'alimentation minérale

- Compétition pour l'eau

Bilan hydrique en zone forestière Le cas de l'agroforesterie

Difficultés expérimentales:

- Mesure des flux (transpiration, drainage, ruissellement)

- Hétérogénéité de la maille

- lourdeur générale des expérimentations

Bilan hydrique en zone forestière Le cas de l'agroforesterie

Le système Erythrine/café

Bilan radiatif:

Approche géométrique

Travaux de Nygren, Maraun
SATIE

Approche maquette 3D

Travaux de Barthélémy,
Dauzat, Hauteceur

UN MODELO DE LOS PATRONES DE SOMBRA DE ARBOLES

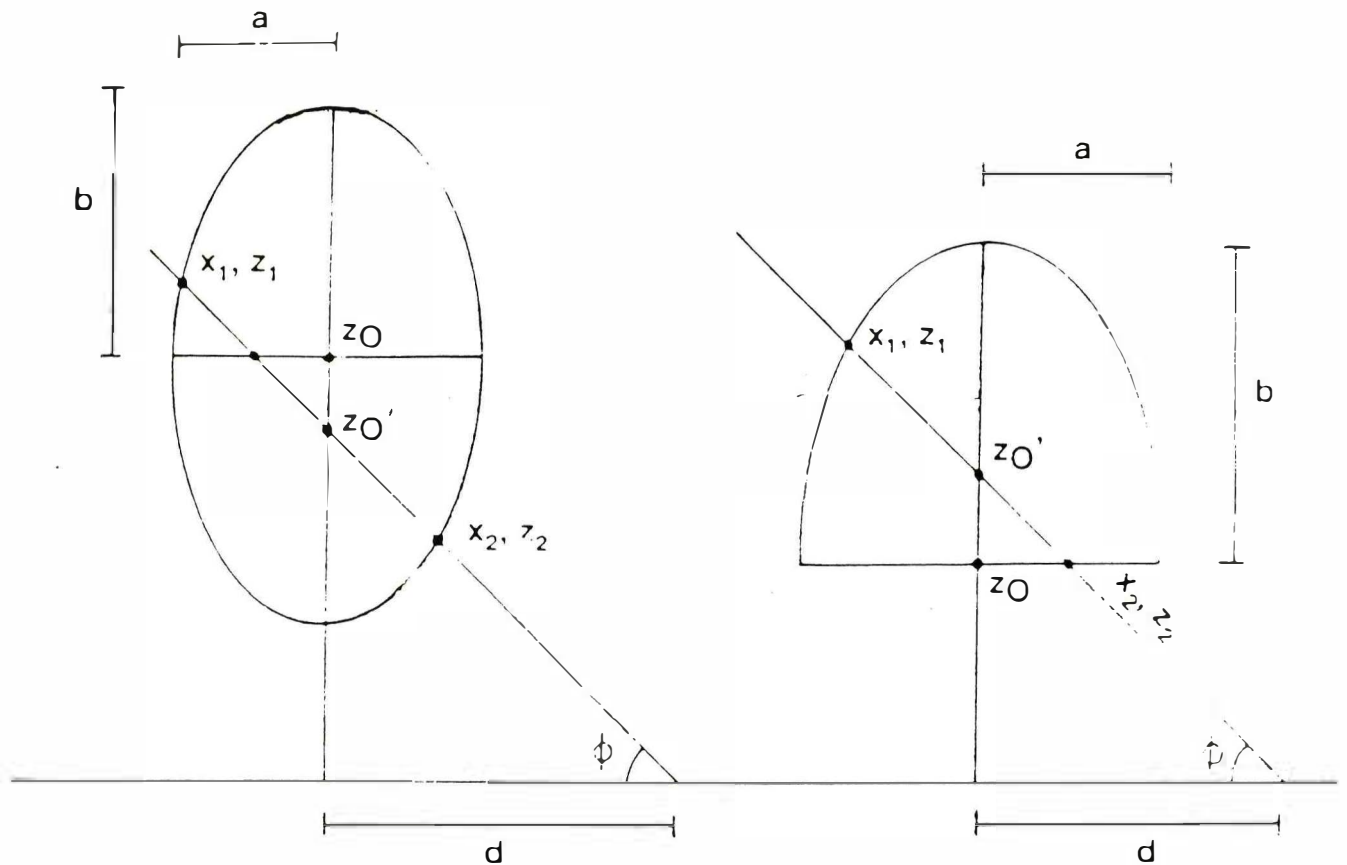


FIG. 3. Los puntos cardinales usados para la determinación de la longitud de la trayectoria del flujo directo de fotones a través de la copa de los árboles de forma elipsoidal (elipse C, izq.) y semielipsoidal (semiellipse C', der.).

Tomando a (x_1, z_1) y (x_2, z_2) como los puntos de entrada y salida, respectivamente, del flujo de fotones en la copa, se calcula la longitud de su trayectoria en la copa, s , para la elipse C (Fig. 3):

Transmisión de la PPFD a través de la copa de

La transmisión de la PPFD en la copa se aplicando la Ley de Beer acerca de transmi

Bilan hydrique en zone forestière Le cas de l'agroforesterie

Bilan hydrique

Le système Erythrine/café

Bilan radiatif par
maquettes 3D

Travaux de Barthélémy,
Dauzat, Hauteceur

Modélisation de la
circulation de l'eau
dans la maquette 3D

Travaux de Berger,
Rapidel (thèse en cours)

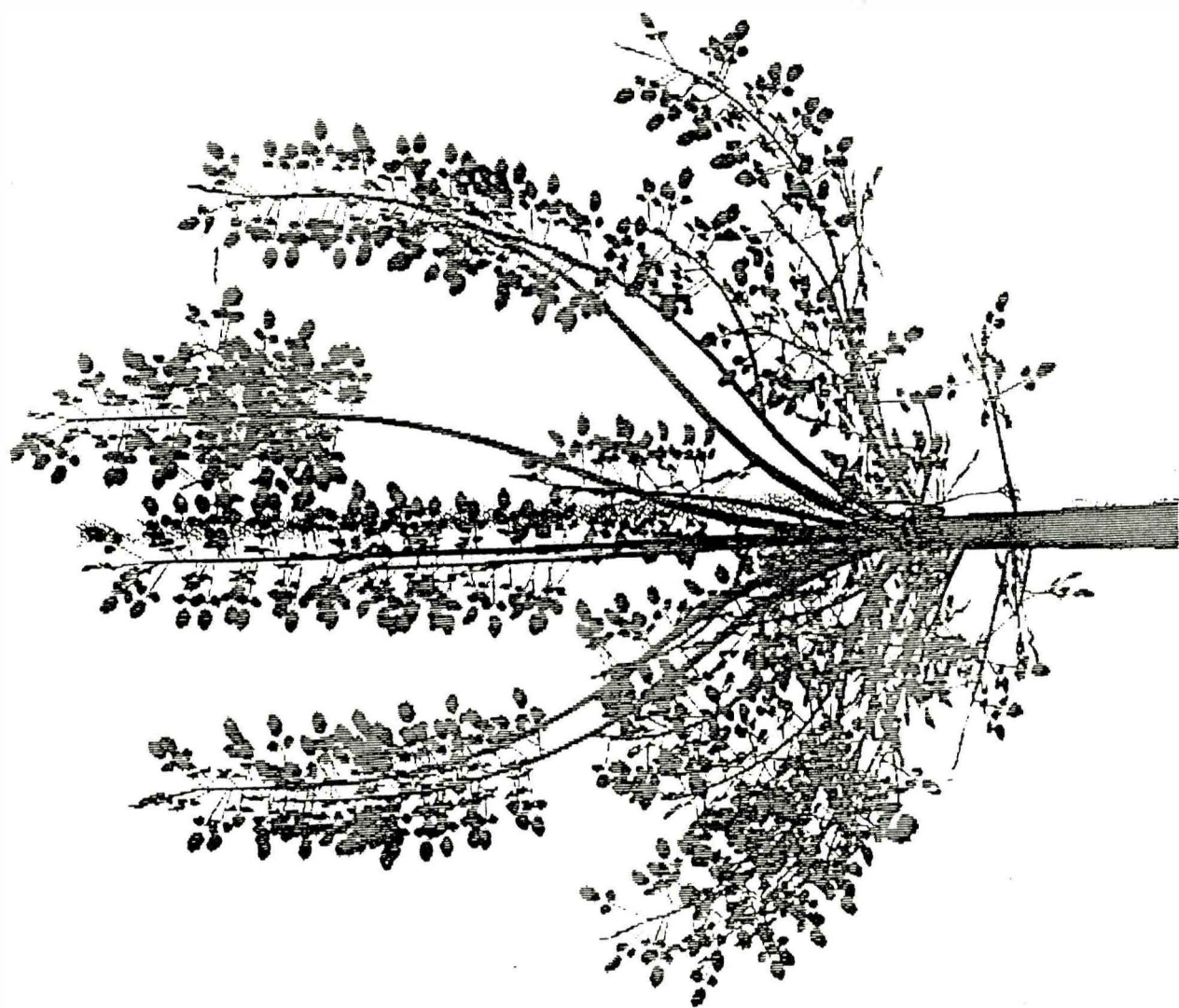
Bilan hydrique en zone forestière Le cas de l'agroforesterie

Le système Erythrine/café

Résultats attendus

Un modèle de simulation
permettant de raisonner:

- La disposition spatiale des arbres et des cultures
- La taille des plantes d'ombrage



MAQUETTE ERYTHRINE
CIRAD-CA - ANAP.

RISQUES CLIMATIQUES RISQUES ÉCONOMIQUES*

FN Reyniers

Dans une phase d'intensification progressive comment élaborer des systèmes de culture valorisant la ressource en pluies en fonction des aléas climatiques et économiques?

Pour répondre à cette question le groupe de programmation *Eau Production Végétale* de GERFFEAU, animé entre autre par l'UR CIRAD-CA *Gestion de l'Eau*, a identifié les thèmes suivants.

- Analyse des risques hydriques sur les productions régionales, évaluation du coût de la dégradation de l'environnement;
- Compréhension des mécanismes de prise de décision face aux risques climatiques;
- Typologie des systèmes de production pratiqués face aux risques de différentes nature;
- Formalisation et modélisation des comportements des agriculteurs prise de décision en univers incertain sur l'exploitation;
- Simplification des modèles et adaptation aux données disponibles pour mettre au point un outil de conseil au développement.

*NB: Le sujet n'a pu être débattu, faute de temps et d'économistes.

SESSION 5

POUR UNE CARACTERISATION PRECISE DE LA CONSOMMATION EN EAU MAXIMALE DES COUVERTS CULTIVES INTENSIFIES

F. FOREST

Les chercheurs de l'U.R. ont été fréquemment confrontés au problème délicat de l'estimation de la demande en eau maximale du couvert en zone soudano-sahélienne.

L'intensification (engrais, densité, contrôle de l'herbe) induit, en particulier pour les cultivars locaux (lignées...) une augmentation de la hauteur (céréale), du LAI...

La résultante est une considérable augmentation de la consommation maximale du couvert, processus induisant en conséquence un accroissement de la sensibilité de la culture à une éventuelle sécheresse.

La question se pose de caractériser les mécanismes (autres que l'effet de bordure) responsables de cet accroissement obtenu en conditions d'hivernage bien installé (flux advectif constant et faible). Si l'hypothèse d'un fort transfert de chaleur sensible entre l'environnement (la petite région) et le domaine cultivé semble plausible (cf. travaux aux USA de Arkin et al), quels dispositifs mettre en place pour le vérifier.

Les travaux de l'INRA (Perrier, Seguin, Itier) ont étudié ce mécanisme et l'ont modélisé, démontrant que la valeur limite était $ETRM = 2 ETP$.

L'U.R. est intéressée à ce qu'une réflexion pratique soit conduite avec l'INRA pour que soient définies une méthodologie d'intervention et une action de recherche conduisant à clarifier définitivement ce questionnement encore d'actualité en milieu tropical.